مختصر العلوم الهندسية

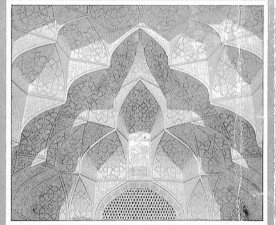
الجزء الثاني

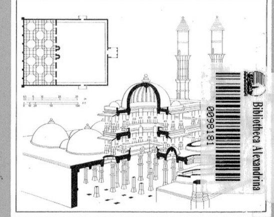
أساليب إنشاء وطرق التحليل الإنشائي

إعداد المهندس المعمار

عماد تنبكجي

دار دمشق







مختصر العلوم الهندسية

الجزء الثاني

أساليب الإنشاء

وطرق التحليل الإنشائي

- أساليب ومواد الإنشاء التقليدية .
- نظريات التوازن وأسس حساب مقاومة المواد .
- مفهوم الإنفعال وتحليل إجهادات القص .



إعداد المهندس

عماد محمد عدنان تنبكجي

الطبعة الاولى
١٩٨٨

سلسلة : مختصر العلوم الهندسية (٢)

الكتاب : أساليب الإنشاء وطرق التحليل الإنشائي
اعداد : المهندس عماد عدنان تنبكجي
الطابع : مطبعة الشام
عدد الطبع : ٢٠٠٠ نسخة
الناشر : دار دمشق للطباعة والنشر والتوزيع
دمشق - سوريا : شارع بور سعيد هاتف : ٢١١٠٢٢ - ٢١١٠٤٨ ص.ب
٥٣٧٢ تلكس ٤١٢٥٣٨ زينه

● المقدمة :

ستتناول الأجزاء اللاحقة ، بعض المواضيع الهامّة ، المتعلّقة بالأساسات ، وبالمنشآت المشادة من مختلف أنواع المواد المعروفة . وهذه الأبحاث ، لا بدّ لها من تمهيد ، يتناول أساليب الإنشاء ، وطرق التحليل الإنشائي ، وهذا ما كان .

تناول الجزء هذا ، أساليب التحليل الإنشائي ، معتمدين في ذلك ، على قوانين وقواعد رياضيّة مبسّطة ، مبتعدين قدر الإمكان ، عن القوانين الرياضيّة المعقّدة ، إذ الهدف كان ، إعطاء المعماريين فكرة موجزة عن عمليّة التحليل الإنشائي ، بهدف وضع الطرز والأشكال الإنشائية ، في موضعها الملائم .

تناول الفصل الأوّل ، أساليب ونظريّات الإنشاء والتصميم الإنشائي ، وهو بحث اعتمد على تقصيّ مفهوم الحمولة ومكوّناتها ، إضافة إلى توسّعه في طرق فهم كيفيّة جعل المبنى ، يستجيب بشكل فعّال ، لمتطلّبات المتانة والإستقرار . أُلحق بالفصل الأوّل ، بحث تناولنا فيه ، خصائص مواد الإنشاء التقليديّة المعروفة .

بحث الفصل الثاني ، في نظريّات التوازن ، وقدّم فكرة موجزة وبسيطة ، عن مفهوم مقاومة المواد . إضافة إلى تعرُّضه لمفهوم الإجهاد المحوري ، من خلال صياغة معادلاته ، ومحاولة البرهنة عليها ، بأبسط الطرق الرياضيّة .

انتقل الفصل الثالث ، لمناقشة مفهوم الإنفعال «التوتّر» وتطبيقاته ، إضافة إلى تتبُّع مفهوم إجهادات القص ، ومحاولة صياغة معادلاته ، وإثباتها أيضاً ، بأبسط الطرق الرياضيّة .

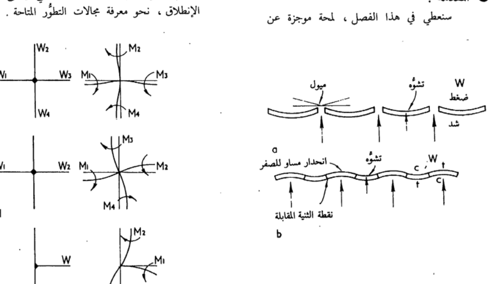
إنّ الهدف من هذا الجزء ، كما سنرى من خلال تتبُّع فصوله وفقراته ، هو إعطاء المعماري ، خلفيّة علميّة مبسّطة ، يستطيع من خلالها ، تفهُّم سلوكيّة العنصر الإنشائي ، أثناء تلقيه القوى والحمولات المقرّرة ، ولكي تساعده أيضاً ، على فهم ما سنأتي عليه من أبحاث ، في أجزائنا اللاحقة .

الفصل الأول

أساليب ومواد الإنشاء التقليدية

● **المقدمة :**

سنعطي في هذا الفصل ، لمحة موجزة عن أساليب ومواد الإنشاء التقليديّة ، لكي يتسنّى لنا الإنطلاق ، نحو معرفة مجالات التطوُّر المتاحة .



● النظريّات الإنشائيّة :

* الحمولة :

- **1.01** : تتحدّد البنية الإنشائيّة للبناء ، وفقاً للمعيار التصميمي ، أو الجملة الإنشائيّة المنتقاة . وهذه الجملة ، تلعب مجموعة من الإعتبارات ، دوراً في تحديدها ، ومنها : قيود وحدود الموقع ، المتطلبات الوظيفيّة ، والمفهوم أو التصوُّر المعماري . بعد تحديد الجملة الإنشائيّة ، ينتقل المصمِّم إلى المرحلة الثانية ، المتضمنة تقييم وتقدير الحمولات ، وتحليل نماذجها . يمكن لنا تحديد الحمولة الميّتة ، أو الوزن الذاتي للبناء وعناصره الإنشائيّة ، بدقة مقبولة ، عند المرحلة الثانية هذه . أما الحمولات المركّزة ، أو الأوزان المحمولة ، فإن تقديرها وتقييمها ، يحتاجان إلى شيء من الدراسة والتحليل .

- **1.02** : ينبغي على المصمِّم أن يتذكّر ، أن الهدف من إدراج الحمولات القانونيّة ، ضمن جداول خاصة ، هو محاولة لتصنيف أنواع شتىٰ من حمولات الأبنية . إن مقادير الحمولات المبيّنة على جداولها ، هي الحد الأدنى للحمولة . وتسهيلاً للمصمِّم ، تسجّل الحمولات على الجداول ، وكأنّها حمولات موزّعة بانتظام ، على الرغم من أن الحالة هذه عملياً ، نادرة الحدوث .

يدرس مسبقاً السلوك المتوقّع للحمولة ، وتأثيراتها على المبنىٰ ، وذلك قبل تبني القوانين العلميّة ، الصالحة لتفسير التوزّع المنتظم للحمولة . إن قدرة الأرضيّة ، على نشر الحمولة ، فوق مساحات تفوق المساحة الفعليّة ، التي يشغلها الحجم المادي للحمولة المطبّقة ، تساعد كثيراً ، على تبني التفسيرات هذه . فالآلة الطابعة مثلاً ، غرفة السنترال ، وغيرها ، أجسام ذات حمولات مركّزة ، إلا أن التعامل معها واستثمارها يتطلّب ، مساحات عمل إضافيّة ، تقعُ حول الأجسام هذه ، خالية من الإشغالات ، مما يتيح لنا إدراجها ، ضمن منظومة الحمولات المنتشرة .

- **1.03** : على أي حال ، وبشكل عام ، لا نلاحظ أيّ تغيُّر في مقادير الحمولة ، المنصوص عنها والمصنّفة ، ضمن جداول معياريّة ، ما لم يحدث تغيُّر في طريقة استخدام المبنىٰ . فعلى سبيل المثال ، تعد حمولة أرضيات المكاتب المساوية لـ ($2.4KN/m^2$) ، مضافاً إليها التفاوت الأصغري المقبول للفواصل ، غير كافية تماماً ، لتغطية الحمولة المعرّضة لها أرضياتها ، خصوصاً إن أمثال تلك الغرف ، تتعرّض كثيراً ، لتبدُّلات نوعيّة في أمكنة تأثيثاتها الداخلية . فمن الأحسن والحالة هذه ، تبني الحمولات الأكبر . كما نلاحظ أن الحمولة وكيفيّة تلقيها ، تصبحان العامل الأهم ، المسيطر على العمليّة التصميميّة .

- **1.04** : لا تراعىٰ مقادير وقيم الحمولات فحسب ، بل يراعىٰ أيضاً عند التصميم ، طبيعة تلك الحمولات . فعلىٰ سبيل المثال ، تعد الحمولات الميتة ، حمولات ثابتة ومستديمة ، أما الحمولات الطارئة أو المضافة ، فهي حمولات عابرة ، تختلف في خصائصها وصفاتها ، عن تلك الثابتة . ومن تلك الإختلافات ، ما تسبِّبه الحمولات الميتة ، ذات الصفة الدائمة ، في مواد الإنشاء ، إذ تستطيل المواد هذه وتتشوّه ، وتستمر أطوالها في ازدياد ، وإن لم تزدد قيم الحمولات هذه . بعضاً من الحمولات الطارئة أو المضافة ، كالأوزان المحمولة علىٰ أرضية فراغ تخزيني ، تتصف أيضاً بما تتصف به الحمولات الثابتة ، إذ تسبِّب تشوُّهات مستمرّة ، نلحظ آثارها الضارّة ، علىٰ طول مجازات أرضيّة المنشأة .

- **1.05** : قد يكون مبعث الحمولات الطارئة أو المضافة ، اهتزازات حركيّة ، ذبذبات صوتيّة ، أو ميلان بعض العناصر الحاملة ، ارتعاش عناصر من المبنىٰ ، نتيجة استجابتها لحمولات خارجيّة ، عدم استقرار المبنىٰ ، وأخيراً الإجهادات الناشئة ، عن فساد واهتراء البنية الهيكليّة للمبنىٰ ، والناشئة غالباً ، عن طول فترة الإستثمار ، وعدم كفاية الإجراءات المتخذة ، لحماية وصيانة الأجزاء الحاملة . إن الإستجابة للحمولات المتنوِّعة هذه ، ودراسة تأثيراتها على المنشأة ككل ، عمليّة تدعوا إلىٰ تعقيد إجراءات التصميم ، إلا أن البحث والخبرة ، أوجدتا خطوات توجيهيّة ، مكّنت من عقلنة وسلسلة إجراءات التصميم ، وعمّقت فهمنا لما يحدث للبناء .

- 1.06 : إن الحمولات الناشئة عن ظواهر طبيعيّة ، بما فيها الرياح ، الثلوج ، والحمولات الناشئة عن الزلازل ، هي من الحمولات السائبة ، التي يصعب تحديد مقدار لها ، كما يصعب معرفة منحاها ، خصائصها ، ومدى تأثيرها على المبنى . ضمن تصنيف الحمولات هذه ، يكون المستثمر والمشرِّع ، عاجزين في الواقع ، عن التصرُّف المرضي والمعقول والملائم لمتطلبات الحال . إن الفجوة ما بين الحمولات الطبيعيّة ، الناشئة عن ظاهرة طبيعيّة ، متكرِّرة الحدوث ، وفق فترات زمنيّة محدّدة ، وبين الحمولات الإستثنائية ، الناشئة عن حوادث تحيق بالمنطقة ، إلا أنها تبقى في حدود الحوادث النادرة ، والتي لا يحكمها عادة ، التكرار والإنتظام الذي نشهده للحمولات الطبيعيّة ؛ لا شك أنها فجوة كبيرة ، وأكبر من أن تستطيع تغطيتها ، التشريعات والأنظمة المحليّة ، وذلك كون كلف الإحتياط لها ، عاليّة جداً ، وهذا ما دعا إلى ترك هذه المسألة ، معلّقة على قرار مهندسي الإنشاء ، كلٌّ على حدى ، ووفقاً لما تمليه عليهم طبيعة المنطقة ، وأهميّة المشروع .

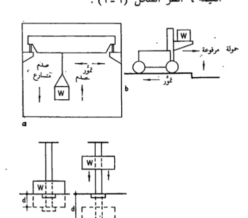
- 1.07 : نستطيع توفير المعلومات الضروريّة ، لتعديل بنود أنظمة البناء وتنقيحها ، فقط من خلال المراقبة الفعليّة ، والمعايشة طويلة الأمد ، لأبنيّة تكاملت عناصرها المكوِّنة ، ووضعت موضع الإستثمار . تشير أنظمة البناء المتاحة ، على صعوبة الإحاطة بكافة تأثيرات حمولة الرياح ، على الرغم من تناولها ، لبعض الظروف المحيطة ، بمواقع ذات طبيعة خاصة ، حيث يجري دراستها ، مرتبطة بأشياء أخرى ، يتميّز بها موقع المبنى ، أو طبيعة المنطقة .

إن تأثيرات الرياح ، لا تنحصر فقط علىٰ ما تحدثه من آثار ، علىٰ متانة المنشأة ككل ، بل أيضاً لها تأثيرات جانبيّة ، علىٰ عناصر الإكساء ، عناصر التثبيت ، والعناصر الإنشائيّة الأخرىٰ .

يمكن حلّ التأثيرات الإنشائيّة ، لرياح المنطقة ، فقط من خلال بحث مركّز ، يستقصي ما تحدثه الرياح من تأثيرات ، خصوصاً إن كان المبنىٰ مكشوفاً ، ومعرّضاً بشكل مباشر ، لتأثيرات رياح المنطقة ، وكان أيضاً ، مبنىً عالي الإرتفاع ، ذي شكل مركّب ، كثير الفجوات ، تخترقه قنوات متنوّعة الأقطار ، أو كانت ظروف بناء تلك الأبنية ، وطبيعتها الوظيفيّة ، تقتضي ترك فجوات فيها بينها ، وهذا ما نلاحظه ، في أبراج متقاربة ، تكون عرضة للإنهيار ، نتيجة لكونها من النقاط الأضعف إنشائياً ، والأكثر تعرُّضاً لرياح المنطقة .

1.08 - : لا يمكن تغطية تأثير حمولة الثلوج علىٰ المنشأة ، ضمن بنود أنظمة البناء ، خصوصاً في المناطق الباردة ، والمساحات المكشوفة ، حيث تسود الرياح الشديدة ، ودرجات الحرارة المنخفضة . قد تطيل العوازل الحراريّة الفعّالة ، من أمد مكوث الثلج ، علىٰ بعض السطوح ، كما يمكن أن يمتد مكوث الثلج المتجمّد ، علىٰ السطوح المقعّرة ، وبين مسايل السطح المشكّلة من تقابل سطحين مائلين ، إلىٰ فترة بدء تعرُّض البناء ، إلىٰ حمولة الرياح . يرتبط رجحان اجتماع الحمولتين هاتين معاً ، بخصائص وطبيعة الموقع .

1.09 - : لا يمكن عملياً، تغطية الحمولة الخاصة، التي يمكن أن تتعرّض لها الأرضيات، ضمن بنود أنظمة وتشريعات البناء، وهي حمولات، غالباً ما تكون ناشئة، عن أوزان التجهيزات، الآلات، والمعدّات المركبّة، لتساهم في عمليّة الإنشاء، وفي تركيب وتجميع التمديدات، بمختلف أشكالها. كما يمكن لهذه الأرضيات، أن تتعرّض لأمثال تلك الحمولات الخاصة، في فترة لاحقة، وهي فترة استثمار المبنىٰ. تسبِّب بعضاً من هذه الحمولات، تأثيرات حركيّة، ينبغي أن تلاحظ، علىٰ المخططات الأفقيّة والشاقوليّة للمبنىٰ. تسبِّب تزايد سرعة المركبات والرافعات، تباطئها، وفرملتها، تموُّرٌ يصحبه نشوء قوىٰ جانبيّة، تعمل ضمن بنية المنشأة. تحدث القوىٰ المتحرِّرة عن حمولات طبِّقت علىٰ حين غرّة، أو عن حمولات ساقطة، تأثيرات إجهاديّة، أكبر بعدّة مرّات، من تلك التي تولّدها، حمولة ساكنة، مساوية لها في القيمة، أنظر الشكل (١ ـ ١).



الشكل (١ ـ ١ ـ آ) : يظهر الشكل الحمولات الناتجة عن كلٍّ من : الصدم، حركة الآلة الإهتزازيّة «التموُّر»، والحمولات الطرفيّة المرفوعة، كما تظهر على المسقط.
الشكلُ (١ ـ ١ ـ ب) : يظهر الشكل واجهة الحمولات الناتجة عن كلٍّ من : الصدم، التموُّر، والحمولات الطرفيّة المرفوعة.
الشكل (١ ـ ١ ـ جـ) : يظهر الشكل الحمولة الساكنة.
الشكل (١ ـ ١ ـ د) : تسبِّب الحمولات الحركيّة تشوُّهات دائمة أحياناً في المبنى.

- 1.10 : تدوم تلك التأثيرات ، لحسن الحظ ، وفي معظم الحالات ، لفترة قصيرة جداً ، ومع ذلك ينبغي على المصمِّم ، أخذها بعينِ الإعتبار . هناك تأثيرات حركيّة ، تحدثها حمولة الرياح ، وهي تأثيرات جرىٰ التنويه عنها ، فيما سبق من فقرات ، إضافة إلى ذلك ، هناك تأثيرات أخرىٰ ، تحدثها الرياح ، منها ظاهرتي الإهتزاز والرنين ، اللتان تحدثهما الرياح ، في المنشآت العالية ، والجسور ذات المجازات المتسعة . تحدث الزلازل أيضاً ، تأثيرات حركيّة . ونتيجة الفواجع التي تسبِّبها الزلازل عادة ، تصدّىٰ المعماريون والإنشائيون ، بالبحث والدراسة ، لهذه المشكلة ، علّهما يجدان لها حلاً ، يقون به منشآتهما ، من خطر انهيارها علىٰ رؤوس مستثمريها .

اندرجت نتائج الأبحاث تلك ، ضمن خطوات التصميم التوجيهيّة ، ليجري من خلالها ، تصنيف المساحات المعرّضة للزلازل ، وهي مساحات ، تدخل في حسابات منشآتها ،عامل احتمال تعرُّض المبنىٰ ، لأخطار الزلازل .

- 1.11 : إلا أن هناك العديد من الأبنية ، المتواجدة خارج نطاق المناطق المعرّضة للزلازل الأرضيّة ، ومع ذلك تتعرّض لحمولات مركّبة ، غالباً ما تكون ، علىٰ شكل حمولات كبيرة ساكنة ، مترافقة بتأثيرات حركيّة . ففي الأبنيّة الصناعيّة علىٰ سبيل المثال ، تقوم الآلات والمكابس الضخمة ، بتوليد صدمات ، تشابه في تأثيراتها ، ما تسبِّبه الزلازل عادة من تأثيرات . تسبِّب الضواغط والآلات ، ذات التردُّدات المضطربة ، اهتزازات تصل بشدَّتها إلىٰ حد الرنين ، مما تسبِّب انهيار منشآت الإستناد . إن الطاقة المحرَّرة ، من آلة تجربة العيِّنات ، بعد إتمام كسرها للعيِّنة ، تنتقل علىٰ كامل هيكل الآلة ، متجهة إلىٰ أرضيّة المنشأة ، لذا كان من المفضَّل دوماً ، عزل أو فصل أمثال الآلات هذه ، عن أرضيّة المنشأة .

- 1.12 : غطّت التعديلات الجاريّة علىٰ أنظمة البناء ، خاصّة التعديل الخامس الجاري علىٰ الكود البريطاني / ١٩٧٠/ ، مشكلة الحمولة المقوِّضة ، في الأبنيّة التي يزيد ارتفاعها عن أربعة طوابق ، بما فيها الأقبيّة ، والمعرّضة لأخطار خارجيّة ، تحدث عرضاً . لم تشر التعديلات هذه ، إلىٰ الأخطار الناجمة عن الإنفجارات .



الشكل (٢ - ١) : نلحظ أضراراً بسيطة ، سبّبتها انفجار اسطوانة غاز ، نتيجة الإحتياطات المتخذة ، ومنها فصل الجمل الإنشائيّة عن بعضها البعض .

لقد كان الهدف من التعديلات هذه ، هو الإشارة إلىٰ ما يجب اتخاذه من إجراءات ، تكفل ثبات واستقرار المنشأة ، ولو تعرّض أحد عناصره الإنشائية الحاملة ، كواحد من الجسور ، عمود من الأعمدة ، بلاطة أرضيّة من أرضياته ، أو جدار من جدرانه ، إلىٰ الإنهيار ، نتيجة لتعرُّضه ، لخطر خارجي عارض ، أنظر الشكل (٢ - ١) . ينبغي لنا إدخال الضغوط المتعاقبة ، والمساوية ($34kN/m^2$) ، والمؤثِّرة في كل اتجاه ، بعين الإعتبار ، لتعمل معاً مع كل من الحمولات الميِّتة ، مضافاً إليها ثلث الحمولة الحيّة ، وثلث حمولة الرياح .

ينبغي أن تكون الأرضيات الواقعة تحت منسوب الجهة المتضرِّرة من الحادث العرضي ، أهلاً لتحمُّل أوزان أنقاض الطوابق العليا المنهارة . تحت ظروف الحمولة هذه ، نلحظ انخفاض عامل السلامة إلىٰ حدوده الدنيا . لتغطية الحمولات الطارئة تلك ، تحسب منشآت البيتون المسلّح ، علىٰ أساس ضرب الإجهادات الناتجة عن الحسابات المجراة ، وفق كود معيّن ، بعامل يساوي (١,٧٥) ، بينما تضرب الإجهادات الناتجة عن الحسابات المجراة ، وفق كود معيّن ، في منشآت الحجر والقرميد ، بعامل تتراوح قيمته ما بين (٣,٥ـ٤) .

- **1.13** يعد التعديل الخامس المطبّق علىٰ أنظمة البناء البريطانيّة ، تعديلاً موجزاً ، إلا أن إيجازه ناشىء عن الدقة في التعابير المختارة ، والكافية لتغطية كافة الأنواع والطرز الإنشائيّة . علىٰ أي حال ، وبسبب كون التعديل موجزاً ، ظهرت العديد من الإيضاحات والتفاسير المهتمة ، بإظهار خفايا التعديل هذا .

وليكن معلوماً ، أن التوصُّل لحل إنشائي بسيط ، لا يمكن أن يتم ، دون تقريب وجهات النظر ، ما بين المصمِّم ، وبين الجداول المراد الرجوع إليها .

*** حساب الأساسات والقواعد التأسيسيّة :**

- **2.01** : إن المستقر النهائي لكافة الحمولات ، المرَكَّبة منها والميتة ، هي أرضية التأسيس . وإنّ المهمة الأساسيَّة ، الواقعة علىٰ عاتق المنشأة ، والأساسات جزء لا يتجزّء منها ، هي تلقي الحمولات بشكل سليم معافىٰ ، ونقلها بكفاءة إلىٰ أرضيّة التأسيس . تتحدّد الحمولات الواقعة علىٰ المنشأة ،آخذين بعين الإعتبار ، كافة العوامل المؤثّرة علىٰ تحديد الحمولات المركّبة ، والمشار إليها في الفقرة السابقة . نستطيع أيضاً ، تحديد الخواص الإنشائية لتربة التأسيس ، بالتصرُّف المناسب ، والمعاينة الدقيقة للتربة الواقعة تحت منسوب الأرض الطبيعيّة ، ومن خلال المعلومات المدوّنة عن تجربة وخبرة ، والخاصّة بظروف ومواصفات ترب ومناخات المنطقة .

- **2.02** : علىٰ أيٍّ حال ، تؤثّر القرارات المتخذة بحق الجملة التأسيسيّة ، علىٰ اختياراتنا المستقبليّة لنوعية ومواصفات الجملة الإنشائيّة بأكملها . فعلىٰ سبيل المثال ، نلحظ أن :

١- إشادة منشآت علىٰ أرض طينيّة ، قابلة للتقلُّص ، يستدعي تجميع الحمولات ، لتتلقّاها بادىء ذي بدء ، الشيناجات الأرضية ، و/ أو بلاطات تأسيسيّة ، تعمل علىٰ تجميع الحمولة ، وتركيزها علىٰ أوتاد ، تقوم بنقلها بعيداً ضمن التربة ، حيث طبقة التأسيس ، البعيدة عن التأثُّر بالمتغيِّرات المناخيّة .

٢ ـ يتطلّب إشادة منشآت علىٰ أرض هشّة ، أو قدرتها ضعيفة علىٰ تحمُّل الحمولات العالية ، بناء قاعدة تأسيسيّة واسعة المساحة ، أو تزويد أرضيّة التأسيس ، ببلاطة مسلّحة ، تعمل علىٰ توزيع وتشتيت حمولات المنشأة .

٣ ـ إنّ المنشأة المحمولة علىٰ أوتاد ، لا بد أن تصمّم وفق موديول ما ، تتوزّع من خلاله أعمدة وأوتاد المبنىٰ .

٤ ـ تشاد المنشآت التي تتصف بصلابة موادها ، والمراد حمايتها من التأثُّر بأخطار هبوطات التربة المتباينة ، على وحدات تأسيسيّة متساوية الصلابة ، كما يمكن تقسيم المنشأة هذه ، إلى أجزاء متراصّة ، متينة البنيان ، تعمل كلٌ منها ، بمعزل عن الأخرىٰ .

٥ ـ إنّ تصميم المنشآت ، علىٰ شكل وحدات منفصلة ، يضمن لها الحصول علىٰ مرونة عالية ، تستطيع بها مقاومة الإنهيار الناشيء عن انخساف التربة .

2.03 - : تصمّم الأقبيّة لأداء وظيفتين انشائيتين بآن واحد ، فهي من جهة بمثابة جدران استناديّة ، ومن جهة أخرىٰ ، بمثابة أساس حامل ، متسع الأبعاد ، يعمل على تلقي وتشتيت حمولة المنشأة ، خصوصاً في المنشآت المشادة من مواد صلبة . إلا أنّ سلبيّة الأقبية ، تكمن في الصعوبات التي نواجهها ، في ضبط شقوق وشروخ جدرانها ، خصوصاً إن اشيدت تحت منسوب المياه الجوفيّة . يتطلّب إنشاء الأقبيّة ، التقيُّد التام بأساليب الإنشاء ، الحرص في تنفيذ فواصل التمدُّد ، والإهتمام بوسائل العزل المتّبعة . تعد الأقبية المشادة ، لصالح أبنية بسيطة الأبعاد ، بمثابة أساسات لها ، تعمل بكفاءة ، وقادرة علىٰ تحمُّل حمولاتها وأوزانها ، ومن ثمّ نقلها إلى التربة ؛ وإن كانت قدرة تلك التربة على تلقي الحمولات ضعيفاً . يحتاط المنفِّذون من أخطار غرق الأقبية ، وإن كانت الحمولات المتلقّاة بسيطة ، خصوصاً أثناء فترة التنفيذ ، إن أشيدت علىٰ منسوب المياه الجوفيّة .

● **التصميم الإنشائي :**

*** تصميم البيئة والمرافق العامة :**

- **3.01** : تؤثّر المتطلبات البيئيّة للأبنية الحديثة ، تأثيراً واسعاً علىٰ التصميم الإنشائي . بعض تلك المتطلبات ، تحدِّدها التشريعات وأنظمة البناء المحليّة ، وبعضها الآخر ينشأ عن النشاطات المزمع أداؤها ضمن المبنىٰ ، أو الناشئة عن رغبات الزبوْن . .

تقسّم المرافق والخدمات ، في المصطلح الهندسي ، إلىٰ أربعة مجموعات :

١ ـ الخدمات البيئية :

وهي مجموعة الخدمات ، التي تقوم بضبط بيئة فراغات الأبنية الداخلية ، وتتضمن : تدفئة ، تهوية وإنارة قطاعات وفراغات الأبنية الداخلية .

٢ ـ مرافق التغذية :

وهي خدمات تقدِّمها أجهزة وتجهيزات ، بهدف تزويد المبنىٰ ، بما يجعله قادراً علىٰ تلبية الإحتياجات اليومية لقاطنيه ، كالتجهيزات المشادة لتلبية احتياجات مستثمري المبنىٰ للماء الحار والبارد ، الغاز ، الكهرباء ، وهكذا . . . . .

٣ ـ مرافق تصريف الفضلات :

وهي خدمات تقدِّمها أجهزة وتجهيزات ، بهدف التخلُّص من الفضلات الناتجة ، عن ممارسة قاطني الفراغ ، لأنشطتهم اليوميّة ، كالتجهيزات المشادة للتخلص من القمامة ، ومخلّفات الإنسان العضوية .

٤ ـ التجهيزات المرفقيّة المركزيّة :

وهي تجهيزات تشاد لتشغيل مجموعة المرافق السابقة .

- 3.02 : تؤثّر مخططات المرافق الحيويّة ، علىٰ التصميم الإنشائي ، لذا سندرج فيما يلي ، حجم المشاكل التي سيتعرّض لها المصمِّم الإنشائي ، إن أغفل النظر إلىٰ مخططات المرافق الحيويّة :

١ ـ يتولّد عن القنوات والأنابيب المشادة لتهوية الفراغات ولتصريف مخلّفاتها ، مشاكل لا تنحصر فقط بالمساحة الكبيرة المقتطعة لها ، بل أيضاً بصعوبة التعامل معها ، حيث يصعب ثنيها بدقّة ، أو تغيير اتجاهها . علاوة علىٰ ذلك ، ينبغي تصميم خطوط التوزيع الرئيسيّة ، بما يتناسب مع ما يمكن أن يطرأ من تغيزات مستقبليّة ، في طريقة استخدام المبنىٰ .

٢ ـ تولِّد معظم التجهيزات ، خصوصاً تلك الحاملة لمواد سائلة ضجيجاً ، كما أنها تصنّع غالباً ، من المواد الناقلة للإهتزازات الصوتيّة . إنّ انتقال الضجيج والإهتزازات الصوتيّة ، من تجهيزات الخدمة ، قد يصل إلىٰ حدٍّ ، يفوق المستوىٰ المقبول ، لذا يجري تجميع التجهيزات الإنشائيّة ، حيثما وجدت ضرورة لعزل وفصل مصادر الإزعاج .

٣ ـ تسبِّب حركة أنابيب وقنوات البخار والتدفئة ، نتيجة ارتفاع درجة حرارتها ، حمولات زائدة ، علىٰ كلٍّ من نقاط التثبيت ، وعند نقاط تثبيت طارئة أو أساسيّة أخرىٰ . لذا ينبغي أن تتكامل الحركات والحمولات هذه ، ضمن بنية المنشأة . وبالعكس ينبغي الحؤول دون انتقال الحركات الإنشائية الضخمة ، كتشوُّه الجسور أو الأرضيات ذات المجازات الواسعة ، إلىٰ المرافق ذات التجهيزات الصلبة .

٤ ـ ترتبط اختيارات مواد إكساء وإنشاء الأبنية ، بمعايير العزل الحراريّة ، الضروريّة لتغليف الأبنية ، وبتقديرات مشابهة تتطلبها الإنارة الطبيعية ، عزل الأصوات ، وتهوية الفراغات ، الآليّة منها والطبيعيّة .

٥ ـ تتطلّب حركة المواد والأشخاص داخل المبنىٰ ، أجهزة وتجهيزات آلية ، تؤثّر بشكل أكيد ، علىٰ شكل المنشأة ، ومن تلك الأجهزة والتجهيزات نلحظ ، الروافع ، المصاعد ، والمفرِّغات الآليّة .

* الموارد :

- 4.01 : إن مسألة البحث عن اليد العاملة ، وعن مصادر للمواد الأولية ، لم تكن قديماً من المسائل ذات الشأن ، ولم تؤثّر كثيراً ، علىٰ اختياراتنا لشكل المنشأة . أما الآن ، وفي العديد من المناطق ، خصوصاً في المناطق النائيّة ، أو في المساحات التي يتعذّر الوصول إليها ، أو تلك المعرّضة لمناخات قاسية ، أصبحت مسألة البحث عن موارد المواد الأولية ، قضيّة غاية في الأهميّة ، ووثيقة الصلة بالعمليّة الإنشائيّة . لقد أصبحت لأساليب التنفيذ المحليّة ، ولمواد الإنشاء المتاحة في إقليم ما ، أهميّة كبرىٰ في اختيار شكل المنشأة ، خصوصاً إن أريد إنشاء عمارات بكلف منخفضة . هذا وستوجّهنا الخبرة المتراكمة مع الأيام ، إلى أيٍّ من مواد وأساليب الإنشاء الملائم استخدامها ، وهي تتنوّع من مكان لآخر ، ووفق ما يتوافر من مواد الإنشاء ، فذاك الإقليم يستخدم منشآت معدنيّة ، وتلك بيتونيّة ، وثالثة قرميديّة ، ورابعة خشبيّة ، وهكذا . . . . .

* أساليب ونظريّات التصميم :

- 5.01 : تتحكّم بالجملة الإنشائيّة المختارة ، مجموعة من المتغيِّرات الخارجيّة ، كما تتحكّم بها ، مدىٰ مهارة وخبرة مهندس الإنشاء ، وينجلي ذلك على مراحل ، فور وضع التصوُّر المعماري للبناء . تعد الأخطاء عند هذه المرحلة ، أخطاء قاتلة ، فهي إن لم تفرز وتحدّد ، يصعب مستقبلاً تصحيحها ، وإن أمكن ، فإنّ ذلك سيكون باهظ التكاليف . إنّ مجموعة الإجراءات ، التي تعقب تحديد الجملة الإنشائيّة ومقوِّماتها ، هي إجراءات تقنيّة ، تحوم حول المفاهيم والقرارات الرئيسيّة ، التي سبق للمصمِّم اتخاذها .

- 5.02 : نستطيع الآن تبيان المقاصد الإنشائيّة ، وتوضيح ما إذا كانت متوافقة مع فكرة التصميم أم لا ، باتباع الخطوات التوجيهية التالية :

١ ـ ملاحظة فيها إذا كانت التقنيّات الإنشائيّة المنوي استخدامها ، وكذلك مواد الإنشاء ، بما تتطلبه من حيِّز فراغي أصغري ، ينسجمان مع التشكيلة الإنشائيّة المختارة .

٢ ـ العمل علىٰ إيجاد طريقة ، تتيح لنا الإستخدام الأفضل لعناصر الإنشاء ، وهي ضمن نسق الجملة الإنشائيّة المختارة .

٣ ـ الإستخدام الأكثر فعّاليّة للمادة المختارة .

٤ ـ التأكيد علىٰ متانة المادة الإنشائيّة .

٥ ـ بحث ودراسة طريقة تصرُّف المنشأة تجاه النيران .

٦ ـ دراسة اعتبارات الموقع ، ومدىٰ تأثيرها علىٰ المنشأة .

٧ ـ دراسة مدىٰ اقتصاديّة المنشأة .

- **5.03** : ينبغي معاينة النماذج الممكنة لطريقة تدفُّق الحمولة وانتقالها ، إلىٰ أن تصل التربة ، وإشادة نظام إنشائي حامل ، إن أردنا إنجاز جملة إنشائيّة فعالة . وبشكل عام ، ترتبط كلفة المنشأة ، وما يتطلبه نصيبها من حيِّز فراغي ، بشكل مباشر ، بتعقيدات النموذج ، الذي يتم وفقه انتقال الحمولة ، وبالأسلوب المتبع في تغطية المسافات الواقعة ما بين عناصرها الحاملة . تتخذ القرارات التصميميّة ، للمساعدة في تحديد المجازات ، ومتطلّبات مساحات المسقط المكشوفة . قبل تحليل العلاقات الدخليّة ، الرابطة ما بين بلاطات المنشأة ، جسورها وأعمدتها ، بهدف إقرار النموذج الذي سيتم بموجبه انتقال الحمولة إلىٰ تربة التأسيس ؛ لا بدّ من حلٍّ قضيّة تقسيم المنشأة إلىٰ أجزاء ، ويتم ذلك مشروطاً ، بما تحدثه الحرارة من تأثيرات على المنشأة ، تتجلّى بظاهرتي التمدُّد والتقلُّص . إنّ أبنية تصل أطوالها إلى حوالي ستين متراً ، قد لا تحتاج لتفادي ظاهرتي التقلُّص والتمدُّد ، فصلاً تاماً ، إلاّ أنّه وضمن تلك المسافة ، تتطلّب بعض العناصر الإنشائيّة ، كالحواجز المشادة علىٰ الأسقف أو الشرفات ، والبانوهات المشادة من البلوك ، بعض الإجراءات الخاصة . كما ستحتاج المنشآت ذات الأشكال الغريبة ، وكذلك صهاريج حفظ السوائل ، وبعض الأبنية ذات المرامي الخاصة ، مثل مستودعات التبريد ، إجراءات أكثر حزماً . إن إجراءات كهذه أيضاً ، تحتاجها أبنية ، أشيدت من مواد تباينت درجة تأثُّرها بالتغيُّرات الحراريّة ، كالأبنية المشادة جدرانها من البلوك ، وبلاطاتها من البيتون . إذ يسبِّب تباين تغيُّرات حجوم كلٍّ منها ، استجابة لدواعي ارتفاع وانخفاض حرارة مناخ المنطقة ، تشقُّقات عند الفاصل ، تظهر سلبيّاتها ، بعد إنجاز أعمال التشطيبات بفترة وجيزة .

- 5.04 : يمكن أن تندرج متطلبات التصميم ، ضمن قائمة ، تحوي مجموعة من الأبعاد الحرجة ، يتقيّد بها الإنشائي ، عند تصميم جملته الإنشائيّة ، منها شاقولياً ، سماكة بلاطة الأرضيّات ، وارتفاعات الجسور ، ومنها أفقيّاً ، سماكات الجدران وأبعاد الأعمدة . يجري التحقُّق ، فيما إذا كانت الأبعاد المفروضة السابقة تلك ، قادرة على تحمُّل الأوزان والحمولات المقرّرة ، دون الوقوع في شرك تشوّهات ، تصيب العناصر الحاملة ، وتتجاوز قيمها الحدود المقبولة . هذا ، وإن العمليّة الجدليّة هذه ، تعتمد أكثر ما يكون ، على الخبرة الشخصية ، والتي يستطيع بها المصمِّم ، وضع الأبعاد المناسبة للمقاطع ، وبنفس الوقت ، القادرة على تحمُّل الأوزان والحمولات المقرّرة ، دون أن تعتريها تشوُّهات ، تتجاوز قيمها ، القيم المسموح بها إنشائياً . إنّ القيود التي تفرضها أنظمة وتشريعات البناء ، والخاصّة بتفادي تشوُّهات البلاطات والجسور الحاملة ، لا تكفي للحؤول دون تصدُّع الجدران والفواصل المحمولة علىٰ تلك البلاطات والجسور .

- 5.05 : إن ابحاث التحليل الإنشائي ، قد أفرد لها فصول لاحقة من موسوعتنا هذه ، إلا أننا وجدنا أنه من الضروري هنا ، إجراء تقييم لأساليب التصميم ، لكي نستطيع تصوُّر ماهيّة المنشأة ، وإدراك مفهوم الإنشاء . لتحقيق منشأة متينة واقتصاديّة بنفس الوقت ، لا بد من تقييم دقيق لكافة الحمولات ، يتبعه تقييم دقيق آخر ، لما تسبِّبه تلك الحمولات ، من إجهادات تصاب بها بنية المنشأة ، أو عناصرها المكوِّنة . إن العلاقة الرابطة ما بين الحمولة والإجهاد الحرج ، هي التي تشكِّل مقياساً لسلامة المنشأة . إلى وقت قريب ، كان المعنيين بدراسة طريقة تصرُّف المادة ، تجاه ما تتلقّاه من حمولات ، هم مهندسوا الميكانيك ، ولم يكن ذلك من اختصاص مهندسي الإنشاء . لقد كانت المعارف التقليديّة ، الخاصة بأسس التنفيذ ، تقف حائلاً في وجه اكتشاف مواد جديدة ، وكان لا بد نتيجة لذلك ، من بذل جهود كبيرة ، بهدف تبسيط وعقلنة التصميم الإنشائي ، مما أتاح الوصول إلىٰ ما يسمّى بالتصميم الإنشائي العملي ، المعتمد على النواحي التجريبيّة في الإنشاء . بعضاً من هذه الإجراءات ، كان معدّاً لتطوير أساليب ونظريّات التصميم ، والتي ما زالت تستخدم الى اليوم ، وترتبط مباشرة بقواعد وطرق تصميم الجوائز الخشبيّة ، والجسور المعدنيّة .

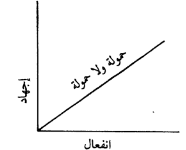
- 5.06 : قال روبرت ميلارد ، في الفقرة التي تحدّث فيها عن تطوّر أسلوب تصميم البلاطة المستوية : لقد كان الخشب واللفائف الفولاذية سابقاً ، متاحتان كمادتان صالحتان لإنجاز أعمال الهيكل الخاص ، بإنشاء البلاطات ذوات المجازات الطويلة . مع العلم بأنه لم يكن في الإمكان ، تشكيل المادتين هاتين كيفما نشاء ، إذ كان الشكل الرئيسي المتاح لهما ، هو شكل الجسر ، وكان البعد الرئيسي له ، هو الطول المحدّد بطول المادة الخام ، وبنظريات الإنشاء ، وبالمواد هذه أمكن تصنيع عناصر الإنشاء الرئيسية ، وهي عناصر أصبحت مألوفة لدى مهندسي الإنشاء ، وما عداها من حلول ، كانت تبدو لأذهانهم غريبة شاذة . كان من نتاج استخدام المواد هذه ، بأشكالها التقليديّة المقيّدة ، استنباط طرق بسيطة ، تستخدم في الحسابات الإنشائية .

لم يتغيّر شيء ، مع بداية دخول البيتون المسلّح حقل الإنشاء ، حيث استخدم البيتون المسلّح ، عوضاً عن مادتي الخشب والفولاذ ، في إنشاء الجسور الرئيسيّة ، الممتدة ما بين جدار وآخر ، أو ما بين عمود وآخر ، كما انشئت جسور ثانويّة مستعرضة ، مابين الجسور الرئيسيّة ، وتمّ بعد ذلك تغطية الفراغات المتروكة فيما بينها ، كمسافات بينيّة ، ببلاطات مستوية من البيتون المسلّح . إلا أنه ، وعوضاً عن تصميم واستخدام البلاطات هذه ، وفقاً لمواصفاتها الإنشائية الفريدة ، جرىٰ تقسيم البلاطات ، إلىٰ شرائح بيتونيّة ، حيث صمّمت كل شريحة علىٰ حدىٰ ، وكأنّ البلاطة عبارة عن مجموعة من الجسور ، لها أسلوبها النمطي الغريب . فقط مصمموا السفن البخاريّة ، هم اللذين استخدموا البلاطة ، كعنصر إنشائي مستقل ، وكان بدايات ذلك ، علىٰ يد المصمّم كراشوف ، بينما أحجم مصمموا الإنشاء ، في ذلك الوقت ، علىٰ فعل ما فعله مهندسوا الميكانيك .

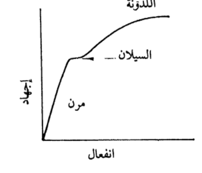
- 5.07 : إنّ ملاحظة ميلارت ما زالت صحيحة ، والتصميم الإنشائي مازال يعتمد الإفتراض القائل ، بأن العناصر الإنشائية ، يمكن تصميمها ، بمعزل عن بقيّة العناصر الأخرىٰ . علاوة علىٰ أن المادة بحد ذاتها ، مادة مرنة ، وسلوكها لدىٰ تلقي الحمولة ، سلوك مبدئي . هذا ، ومن المناسب افتراض ، أن العنصر سيتصرّف لدى تلقي الحمولة ، كما ينبغي له أن يتصرّف ، بصرف النظر عن تصرُّف المنشأة ككل . إن أمثال الإفتراضات هذه ، ليست صحيحة دوماً ، وذلك نتيجة مساهمة بعض العناصر اللاإنشائية ، في العملية الإنشائية . فعلى سبيل المثال ، نلحظ تأثير جدران البلوك ، المشادة ما بين أعمدة وجسور هيكل المنشأة ، علىٰ إرباء قدرة هذه العناصر الحاملة ، على تلقي الحمولات المفروضة ، كما نلحظ تأثير عناصر الإكساء ، علىٰ زيادة متانة عناصر الهيكل ، ذات الأوزان الخفيفة ، كالجوائز الشبكيّة . كما نلحظ أخيراً وليس آخراً ، ما للصلابة الذاتية ، التي تتميّز بها بعض عناصر الإكساء ، من تأثير على زيادة قدرة المنشأة ، على مقاومة حمولة الرياح .

- 5.08 : إن التقدُّم نحو تصاميم أكثر علمانيّة ، لم يكن نتيجة لرفض المبادىء الأساسيّة السابقة ، والتي ترسّخت تماماً مع الأيام ، بل كان نتيجة لفهمنا الأفضل لسلوكيّة المنشأة ، مما حدا إلى النظر بعين الشك ، إلى مجمل القيود والتعليمات القديمة . إن حالتي المرونة واللدونة المتعاقبتين ، واللتان تمر بهما المادة ، أثناء تعرُّضها لحمولات خارجيّة ، كانتا حالتين معروفتين ، منذ وقت طويل ، إلا أنّه ومنذ وقت قريب نسبيّاً ، أخذت تلك الحالتين ، تدخلان كعاملين هامين من عوامل التصميم الانشائي ، وكان من نتيجة ذلك ، حصول توزيع أكثر فعّاليّة لمادة الانشاء ، مما أتاح تقدُّماً ذي شأن ، أحرزته العلوم الهندسيّة ، مكّنها من تصميم منشآت ، كانت قديماً غير مقرّرة ، ولا يمكن لنا حسابها . لقد أثبت التطوُّر هذا ، الذي تمّ الوصول إليه بمساعدة الأبحاث الحديثة ، أنّ العلاقات البسيطة المفترضة سابقاً ، مابين إجهاد التشغيل (وهو الإجهاد المحصور بحد المرونة) ، وبين الإجهاد عند نقطة الإنهيار ، ليست بعلاقات صحيحة ، وذلك نتيجة لتواجد التشوُّهات اللدنة ، مما دعا الى أن تحل محل العلاقة

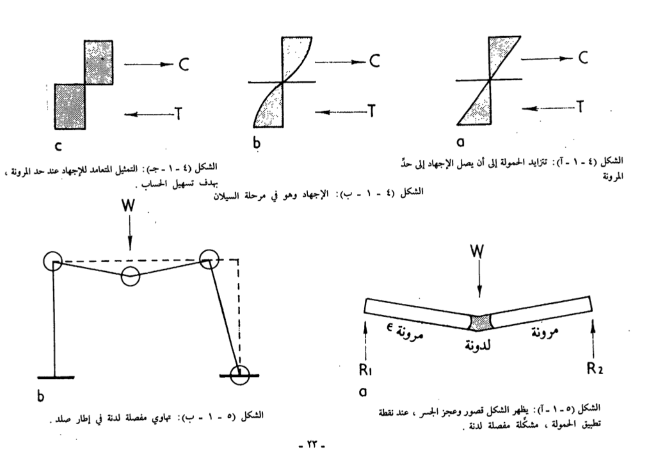
هذه ، ما يسمّى اليوم بعامل الأمان ، وهو عامل يعبّر عن علاقة أدق ، ما بين حمولة التشغيل والحمولة الحقيقيّة ، المؤدّية لانهيار المنشأة . فعامل الأمان هذا ، أو عامل الحمولة ، هو نسبة حمولة التشغيل ، على الحمولة الداعية لانهيار المنشأة ، انظر الأشكال (٣ - ١) ، (٤-١) و(٥-١) .



الشكل (٣ - ١ - آ): يظهر الشكل ارتباط الإنفعال بالإجهاد والمادة مرنة .



الشكل (٣ - ١ - ب): يظهر الشكل التشوُهات المرنة واللدنة



الشكل (٤ ـ ١ ـ آ): تتزايد الحمولة إلى أن يصل الإجهاد إلى حدّ المرونة

الشكل (٤ ـ ١ ـ ب): الإجهاد وهو في مرحلة السيلان

الشكل (٤ ـ ١ ـ جـ): التمثيل المتعامد للإجهاد عند حد المرونة ، بهدف تسهيل الحساب .

الشكل (٥ ـ ١ ـ آ): يظهر الشكل قصور وعجز الجسر ، عند نقطة تطبيق الحمولة ، مشكِّلة مفصلة لدنة .

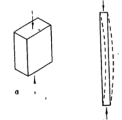
الشكل (٥ ـ ١ ـ ب): تهاوي مفصلة لدنة في إطار صلد .

- 5.09 : يحدث التوتّر نتيجة الإجهاد ، لذا كان من الاهميّة بمكان ، فهم أسباب التوتّر والتشوّهات الإنشائيّة ، فهماً عميقاً ، لكي يصار إلىٰ استخدام أساليب التصميم الحديثة ، بشكل مناسب . إن تحقيق الأمان الإنشائي ، هو المهمّة الرئيسية ، الواقعة على عاتق المصمِّم الإنشائي . إلا أنّ التنفيذ الجيِّد للمباني ، لا يقتصر مفهومه على الأمان الانشائي ، بل يتعدّى ليتصدّى ، حتى إلى مسبِّبات تصدُّع الفواصل والجدران الداخلية ، تشوُّهات وانحرافات شاقوليّة وأفقية أطر النوافذ والأبواب ، تكسُّر أو انفصال بانوهات الإكساء ، وللتشقّقات التي يمكن أن تحدث في التجهيزات والمرافق المنزليّة العامة . ينبغي عند التصميم ، مراعاة ليس فقط حالة التوتّر (وهي حالة التشوُّه التي تكون عليها المادة ، فور تلقّيها الحمولة المقرّرة) ، بل أيضاً التغيُّرات الطارئة على أبعاد المواد الإنشائيّة ، والناشئة عن التغيّرات الحراريّة ، والتفاعلات الكيميائيّة .

لظاهرتي التقلُّص والتمدُّد تأثيرات هائلة ومتعدّدة الأشكال ، على بنية المباني الإنشائيّة . فعلىٰ الرّغم من أنّ للتغيُّرات الحراريّة وجهان متضادان ، وبالتالي لا خوف على المنشأة ، إن كانت التغيُّرات الحراريّة ضمن معدَّلاتها الطبيعيّة ؛ إلا أنّه تبقىٰ هناك فروقات حراريّة ، تعم أرجاء كتلة المنشأة ، مسبِّبة حركات متباينة ، إضافة الى ما تسبِّبه خاصيَّة كل مادة من مواد الإنشاء على حدى ، والمتعلِّقة بدرجة قدرتها على امتصاص الحرارة ، والاحتفاظ بها ؛ من حركات متباينة ، تتلقّاها بنية المنشأة .

هناك أيضاً تأثيرات تسبِّبها تفاعلات البيتون الكيميائيّة ، ورشوحات الرطوبة من خلال الشقوق والشروخ المتواجدة على سطوح المنشأة ، وهما ظاهرتان تستمران على طول السنوات الأولى من عمر المنشأة . تنمو بعدئذ أعداد وأقطار الفجوات ، التي تحدثها أمثال تلك التقلُّصات ، والناشئة عن التغيُّرات الحراريّة ، وتلك الناشئة عن تقلُّص رطوبة المنشأة ، وبمقادير تتناسب ورطوبة الجو المحيط بالمنشأة المدروسة . يمكن أن تسبِّب ردود الأفعال الكيميائيّة الأخرى ، كنمو الصدأ على سطوح القضبان المعدنيّة ، وامتداد الجير الهش ، تغيُّرات حجميّة ، وأيضاً عيوب مظهريّة قبيحة .

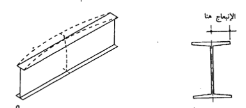
- 5.10 : إنّ ظاهرتي الإجهاد والإنفعال ، هي تعتمد أصلاً في استنتاج قيمها ، على قواعد رياضيّة . أما مشاكل الثبات والمتانة ، فهي مشاكل تحلُّها مجموعة من الخبرات العمليّة ، النظريّات الرياضيّة ، والمهارات الهندسيّة . إنّ متانة المنشأة بشكلها العام ، تحل مشاكلها ، وتقرُّ كيفيتها ، بناءاً على مبادىء ونظريّات التوازن . إلا أنّ متانة عناصر البناء ، أبعد ماتكون عن الفهم الفوري البسيط ، على الرغم من تشابه سماتها ومظاهرها العامة . تضبط مظاهر الاستقرار والثبات ، تصاميم العناصر



الشكل (٧ - ١ - آ) : تجيز الدعمات القصيرة ، إجهادات غير مرتبطة بالطول .

الشكل (٧ - ١ - ب) : تجيز الدعمات الطويلة ، إجهادات مرتبطة بكل من الطول ودرجة صلابة الدعمة .

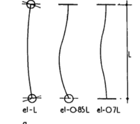
المضغوطة ، أما التواءات الجسور والعناصر المضغوطة ، فتتحكّم بها ، أطوال العناصر هذه ، وصلابة مقاطعها العرضية . أما عجز العناصر هذه ، وقصورها عن أداء وظيفتها الإنشائيّة ، فمبعثه غالباً ، الإنحناءات التمهيديّة ، التي تسبق وصول الحمولات ، إلى درجة تسبِّب معه ضغوطاً وإجهادات حرجة ، أنظر الأشكال (٦ - ١) ، (٧ - ١) و (٨ - ١) .



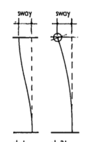
الشكل (٦ - ١ - آ) : يظهر الشكل كيفيّة انبعاج أو انثناء شفة الجسر ، تحت تأثير قوى الضغط .

الشكل (٦ - ١ - ب) : يظهر الشكل الإنثناء المحلي للأجزاء البارزة من مساحة الجسر المضغوطة .

- **5.11** : كان هناك قديماً ، العديد المتباين من النظريات الأكاديميّة ، المتعلّقة بحساب قدرة مقاومة الأعمدة ، حتى أن اختيار إحداها ، كان كفيلاً بحلّ مشاكل أيّ تصميم مقترح . إلا أنّ البحث قد دلّنا على نظريّة ، تضم كافة النظريّات السّابقة ، وتعمل على عقلنة القواعد التصميميّة ، مما جعل منها النظريّة السائدة . إنّ المناطق المعرّضة لإجهادات الضغط من الجسور ، العتبات وصفائح الإستناد ، والتي تعمل كعوارض شاقوليّة ، أو كأغشيّة حاجزة ، هي المناطق الأكثر تعرُّضاً للضعف . تلعب مهارة المهندس هنا ، دوراً في تمييز واحتواء التأثيرات الفيزيائيّة .



الشكل (٨ ـ ١ ـ آ): العناصر مثبّتة في مكانها .

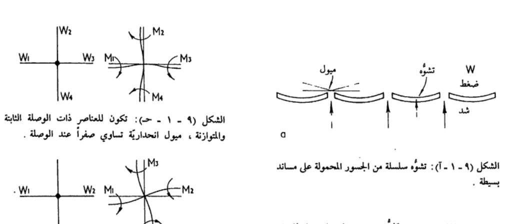


الشكل (٨ ـ ١ ـ ب): العناصر أطرافها حرّة قابلة للحركة .

الشكل (٨ ـ ١): الطول الفعّال (L) .

- **5.12** : إنّ حالة الإستناد البسيط للجسور الطوليّة ، (والجسور الطوليّة ، كما وصفها ميلارت ، إحدىٰ عناصر الإنشاء الهيكلي) ؛ وكذلك حالة وصل الجسر بمسنده ، وصلة مسمارية أو معلّقة ، كما في حالة الروابط والقوائم الإنضغاطيّة ، المستخدمة كعناصر مصنّعة ضمن الأطر والجوائز الشبكيّة ، هما حالتان يعبّران عن مفهومين نظريين ، نادراً ماأمكن تطبيقهما عمليّاً . فالنظريّة تفترض ، أنّ المسند البسيط أو الوصلة المسماريّة ، تتيح استناد العناصر على مساندها ، دون أن يكون هناك قيد يكبِّلها ، فهي تتحرّك وتدور بحريّة تامة . إلا أنّه من الواضح عملياً ، أنّ هناك قيوداً تحدُّ من هذه الحركة ، إذ تتفاعل العناصر مع بعضها البعض وتتحاك ، مما سيولِّد ردود فعل توازنيّة صرفة ، تعمل على رفع قيم العزوم . لقد أدّت صلابة الوصلات ، أو صلابتها الجزئيّة ، أو بمعنى آخر ، أدّى اعتبار المنشأة ، منشأة مستمرّة ، تمييز وتبني تصميم إنشائي ، يعتمد في حساباته ، قواعد وطرق رياضية ، كتلك المستخدمة في حساب المقاطع الصلبة ، ذات القدرة الكبيرة على التحمُّل ، انظر الشكل (٩ـ ١) .

- **5.13** : إنّ من الأهميّة بمكان ، أن توصف أساليب توزيع عزوم المقاطع شديدة الصلابة ، على أسس فيزيائيّة . حيث يشترط الأسلوب هذا ، إظهار تشوُّهات المنشأة ، فيما لو فرضت عليها ظروف متباينة . بأمثال تلك الأساليب ، وبما يمكن أن نفهمه من عبارة توزيع العزوم ، أمكن فهم وإدراك فائدةاستمراريّة المنشأة ، إذ بها نستطيع إعادة توزيع عزوم الثني ، المتولِّدة عن الحمولة ؛ على كامل أرجاء المنشأة ، مما يتيح لنا استخدام مادة الإنشاء ، بشكل أفضل .



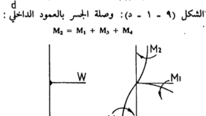
الشكل (٩ ـ ١ ـ آ): تشوُّه سلسلة من الجسور المحمولة على مساند بسيطة .

الشكل (٩ ـ ١ ـ حـ): تكون للعناصر ذات الوصلة الثابتة والمتوازنة ، ميول انحداريّة تساوي صفراً عند الوصلة .

الشكل (٩ ـ ١ ـ ب): يظهر تشوُّه جسر مستمر .

الشكل (٩ ـ ١ ـ د): وصلة الجسر بالعمود الداخلي :

$$M_2 = M_1 + M_3 + M_4$$



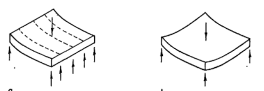
الشكل (٩ ـ ١ ـ هـ): وصلة جسر بعمود خارجي :

$$M_1 = M_2 + M_3$$

الشكل (٩ ـ ١): وصلات مستمرّة في أطر .

- 5.14 : في علم المصطلحات ، تعني لفظة الترابط أو التواصل ، تطوراً للتصميم الخطي وتوسُّعا ، إلى أن يشمل بعدي المادة . إنّ التطور الحاصل والأكثر أهمية (وهو ما أشار إليه ميلارت) ، هو إقرار الأسلوب الانشائي القادر ، على فهم وإدراك الخصائص المشتركة لمجموعة من المواد المتجانسة . فمادة الانشاء المثالية ، هي مادة متجانسة ، أي بمعنى أن خواصها الفيزيائية متماثلة ، في أي نقطة من نقاط كتلتها المادية ، كما أنّ سويّة خصائصها واحدة ، بمعنى أنّ سلوكياتها متماثلة ، في أي نقطة منها ، في حالّ تعرُّض.ايِّ نقطة من نقاط المادة ، لاجهاد ما .

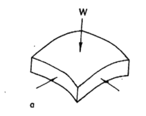
- 5.15 : من النقطة هذه ، انطلقنا نحو فهم أكثر عمقاً للمنشآت السطحيّة ، ومن تلك المفاهيم نمت وتعمّقت طرق تقييمنا لأساليب التصميم الملائمة . إنّ بلاطة ميلارت المستويّة ، هي مثال تقليدي ، يمكننا الاستعانة به ، لادراك مفهوم المنشآت السطحيّة . تحمل البلاطة على طول طرفين متقابلين ، مما يجعلها تتشوّه عند تلقي الحمولة ، لتتحوّل البلاطة المستويّة ، الى بلاطة اسطوانية الشكل . ولتسهيل عمليّة التصميم وإجراء الحسابات ، يمكن اعتبار البلاطة ، مجموعة من الجسور الخطيّة المتوازيّة . إنّ البلاطة المشادة من مادة ، سويّة خصائصها واحدة ، ومحمولة على مساند تتوزّع على زواياها الأربـع ،دون جسور ، هي فقط التي يتم تشوُّهها متحوِّلة إلى شكل كروي . ولهذا نستخدم مبادىء التصميم الخطي ، لتصميم عنصر المنشأة السطحيّة ، انظر الشكل (١٠ - ١) .

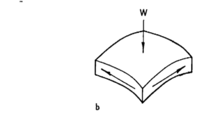


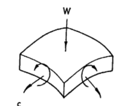
الشكل (١٠ - ١ - آ): يظهر الشكل بلاطة نظاميّة

الشكل (١٠ - ١ - ب): بلاطة تعمل كعنصر من منشأة سطحيّة .

تؤثِّر ضمن تلك المنشآت ، ثلاثة أنظمة من الإجهادات الداخلية : أولاها ما تسبِّبه الحمولات المباشرة من إجهادات شد وضغط ، وثانيها ما يظهر عليها من قوى قص،وثالثها ما ينتابها من عزوم ثني وفتل . تنتشر الاجهادات بأنواعها الثلاث هذه ، في كافة الاتجاهات ، ولشكل القشرية أهميّة نسبيّة ، في تعيين أيٍّ منها ، له تأثير أكبر على المنشأة ، انظر الشكل (١١ ـ ١) .







الشكل (١١ ـ ١ ـ ب): إجهادات ناشئة عن قوى قص .

الشكل (١١ ـ ١ ـ آ): إجهادات ناشئة عن قوى مباشرة .

الشكل (١١ ـ ١ ـ جـ): إجهادات ناشئة عن عزوم ليٍّ وفتل

الشكل (١١ ـ ١): هناك ثلاثة طرق ، يمكننا بها إظهار الإجهادات الداخلية ، لمنشآت قشريّة .

● مواد الانشاء :

* المواد المعدنيّة :

- 6.01 : الحديد مادة لا غنى عنها في العملية الانشائية ، إذ تستخدم في الانشاء ، كمادة مستقلة ، صالحة لتكوين وتصنيع عناصر الإنشاء الرئيسيَّة ، كما تستخدم لتعزيز متانة العناصر الانشائيّة الأخرى ، كاستخدامه بديلاً لما تعجز عنه مواد كالبيتون ، البلوك ، والكتل الضخمة ، المستخدمة عادة في العملية الانشائيّة ، إذ يمتلك الحديد من الصفات والخصائص ، ما تمتلكه هذه المواد مجتمعة ، كما يعمل على تجميع خصائص ومواصفات تلك المواد ، بهدف جعلها تعمل معاً ، وكأنّها مادة واحدة ، لما فيه مصلحة المنشأة .

يزوّد الحديد بمركّبات كيميائيّة متنوِّعة ، لتحقيق مختلف أشكال المقاومة الذاتيّة ، ولسدِّ احتياجات حسن مقاومته للظروف الطبيعيّة ، لذا ينتج الحديد بأشكال متنوِّعة ، تبدأ من الحديد الصفائحي ، إلى المقاطع الصلدة ، ذات الكثافة العالية ، مروراً بالمقاطع النظاميّة .

- 6.02 : نستطيع أيضاً ، وعلاوة على ما سبق ، تصنيع الحديد على شكل قضبان دائريّة أو مضلّعة المقطع ، وذلك بغية انتاج عناصر غاية في المتانة ، تستخدم في تسليح البيتون مسبق الاجهاد ، او لتشكيل أكبال تستخدم في حمل المنشآت المعلّقة . إن تطوُّر تقنيّات لحم وتقطيع الحديد ، أتاح لنا تصنيع أشكال ومقاطع بأبعاد غاية في التنوُّع ، بينما كان لظهور براغي الربط ، ذات المقاومة العالية ، أثر كبير في تطوير أساليب الربط والوصل ، ليس فقط في حقل الاعمال المعدنيّة ، ولكن أيضاً في كافة أنواع المنشآت . تعد صلابة وصعوبة تشكيل القطع الحديدية ، واحدة من أهم سلبيات استخدام الحديد ، في العمليّات الانشائيّة . وفي الواقع يحتاج الحديد ، إلى معالجات عالية المستوى ، تعمل على حماية المنشآت المعدنيّة من التأثُّر بالنيران ، وتجنيب سطوحها التعرُّض للصدأ والاهتراء .

* الخشب :

- **6.03** : الخشب الخام ، واحد من أقدم مواد الإنشاء المعروفة ، وذلك نتيجة لتوفره بكميات كبيرة ، ولسهولة الوصول إليه والتعامل معه . وعلى الرغم من اقتصار استخدام الخشب ، على تصنيع العناصر الانشائية الخطيّة ، إلا أنّ ما لحق بهذه المادّة مؤخراً من تحسينات ، جعلتها ثانية ، من مواد الانشاء الرئيسيّة . لقد تمكّنت الأخشاب من استعادة مكانتها في حقل الانشاء ، نتيجة لفهمنا العميق لخصائصها من جهة ، وللتطوّر الشامل ، الذي لحق أساليب التصميم الخاصّة بها من جهة أخرى . تمّ استنباط أساليب تصميم أكثر كفاءة ، بمساعدة ما تمّ اكتشافه من مواد فعّالة ، قادرة على لصق القطع الخشبية ببعضها ، لصقاً محكماً متيناً ، وكذلك بمساعدة وصلات أكثر متانة ، تمّ استنباطها واكتشافها مؤخراً ، نتيجة التقدُّم الآلي الهائل ، والذي أفرز آلات ، نستطيع بها تشكيل الخشب وتقطيع أطراف منه ، بأيّ صورة نريد . على أيّ حال ، لا يمكن اعتبار الخشب مادّة متجانسة ، كما لا يمكن اعتبار خصائصها ، خصائص متوحّدة السويّة ، ومع ذلك ، تستخدم بنجاح في إنشاء المنشآت السطحية ، وذلك لكون سلبيّاتها هذه ، تتضاءل أمام إمكانيات الغزاء ، وبعض المثبّتات الأخرى ، في دعم الطبقات الخشبيّة المتراصّة فوق بعضها البعض ، لإنتاج قطع خشبيّة ، تنتشر عروقها وأليافها في كافة الاتجاهات ، مما يعطيها متانة تفوق متانتها الطبيعيّة ، أضعاف المرّات . إلا أنّ أكثر ما يخشى منه ، عند استخدام الخشب ، كمادّة من مواد الانشاء ، هو كثرة تعرّضها للتلف الناشىء عن الحشرات ، وعن بعض أنواع من الفطور ، التي تهاجم الخشب ، وتعيش على بنيته الماديّة .

* **البيتون :**

- **6.04** : لقد عرف الرومان البيتون كمونة ، وادركوا فوائده في حقل الانشاء منذ القدم . وقد نجد متعة في التأمُّل في الكيفيّة ، التي كان يمكن أن تتطور بها المباني ، فيما لو عرف البيتون بكافة خصائصه منذ القدم ، فانشئوا عناصر بسيطة تتوحّد ضمن منشأة متناغمة ، تعمل بها قوى شد ، تؤثّر إن أغفلَت ، على متانة المنشأة ككل . وهذا ما يدعونا الى القول ، بأنّ البيتون كمادة ، كان لا بد لكي تصل إلى مكانتها الحاليّة ، من أن تنتظر الى أن يصل النظريُّون ، إلى مفهوم البيتون المسلّح ، لما تمتاز به هذه المادة ، من مواصفات ومميِّزات فريدة . إذ بها أمكن إنشاء عناصر متجانسة ، وسويّة خصائصها واحدة ، وهما شرطان كما رأينا ، تستكمل بهما كفاءة وكفاية أيِّ عنصر ، من العناصر الانشائيّة الحاملة .

تتصف المادة هذه ، بسهولة تشكيلها بأيِّ شكل نريد ، وذلك لكوننا نستطيع صبّها في قوالب معدّة من قبلنا ، وبالشكل الذي نريد . إلا أنّ هذه الصفة ، تطلّبت أن يكون القائمين على تجهيز القوالب ، ومن ثمّ صبّ البيتون فيها ، من أولئك ذوي الخبرة المهنيّة العالية .

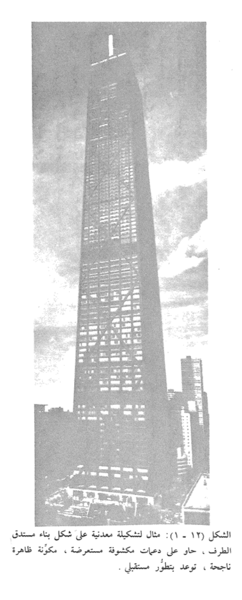
وكما نعلم ، تؤثِّر الظروف المحيطة بالموقع ، على متانة البيتون المصبوب ، مما يتطلّب إشرافاً دائماً على عمليّة الصب ، وذلك من قبل اختصاصي خبير . تحتاج مادة البيتون ، إلى وقت كبير نسبيّاً ، قبل أن نستطيع وضعها موضع الاستثمار ، إذ تحتاج بعد صبِّها ، الى وقت يطول ويقصر حسب الظروف ، إلى أن يتصلّب البيتون ، ويصل إلى حدِّ متانته الحسابيّة .

- 6.05 : تجلّت سلبيّات البيتون المصبوب في الموقع بوضوح ، بعد التطوُّر السريع الذي شهده البيتون مسبق الصب . هذا وقد غالى الكثيرون ، بما يمكن أن يعطينا إيّاه البيتون مسبق الصب ، وهذا طبيعي ، إذ كثيراً ما يتفاءل الناس ، بالأفكار الجديدة والجيِّدة ، والتي تلقى قبولاً عندهم .

إنّ حالة إعادة التقييم ، التي نشهدها اليوم ، سوف تعمل على وضع البيتون مسبق الصب ، في موضعه الصحيح ، كأسلوب قادر على حلِّ الكثير من المشاكل الانشائية . إذ أمكن مؤخراً ، التغلب على سلبيتي البيتون مسبق الصب ، والمتمثِّلة أولاهما ، بارتفاع الوزن الذاتي لوحداتها الفاعلة ، والثانية المتمثِّلة بالفراغ الكبير الذي يحتاجه تصنيع قطعها ؛ بما استجدّ من علوم هندسيّة ، وعلى رأسها اكتشاف اسلوب التصميم المسمّى بالبيتون مسبق الإجهاد ، واكتشاف البيتون عالي المقاومة ، مما أدّى الى الوصول إلى مواد جديدة ، لها خصائص ومواصفات فريدة ، كما لها سلوكيّات ، تختلف بها وتتميّز عن سلوكيّات البيتون العاديّة .

* الألمنيوم :

- 6.06 : لم يستطع الألمنيوم المشوب إلى اليوم ، أن يكون بديلاً عن الحديد ، في تصنيع العناصر الإنشائية الضخمة . إنّ كلفة استخراج الألمنيوم ، واسعاره المرتفعة ، إضافة إلى اتساع ما يمكن أن يتعرّض له من تشوُّهات ، تحت وطأة الحمولات الحراريّة ، تفوق ايجابياته المتمثِّلة بخفّة وزنه ، ومقاومته العالية للصدأ . على أي حال ، قد يعتبر الألمنيوم ، حلاً موفّقاً للكثير من المشاكل ، خصوصاً عندما يكون لوزن المنشأة الذاتي ، أهميّة تفوق ما للحمولات الأخرى من اعتبار ، في عمليّة الحساب الانشائي . من المستحسن استخدام وحدات من الالمنيوم المشوب ، على شكل مقاطع مستعرضة بسيطة ، تركّب ضمن أطر فراغيّة ، لسقف يمتد فوق فراغ واسع ، خال من الأعمدة .



الشكل (١٢ ـ ١): مثال لتشكيلة معدنية على شكل بناء مستدق الطرف ، حاو على دعمات مكشوفة مستعرضة ، مكوِّنة ظاهرة ناجحة ، توعد بتطوُّر مستقبلي .

* **المواد البنائيّة :**

- **6.07** : إنّ المنشآت البنائيّة ، المعتمدة على الحجر الطبيعي ، أيضاً من المنشآت القديمة ، ومواد تنفيذها أيضاً ، من أقدم المواد المعروفة . اقتصرت المواد البنائيّة قديماً ، على الحجر فقط ، لما يمتاز به من قدرة ، على مقاومة الحمولات العالية . أما اليوم ، فقد أصبحت هذه اللفظة تشمل : البلوك ، والكتل البيتونيّة المسلّحة وغير المسلّحة .

* **المواد البلاستيكية :**

- **6.08** : مـا زالت استخـدامـات المـواد البلاستيكيّة ، كمواد إنشـائيّة ، في طور التجربة ، وإن الأبحاث المستقبليّة ، وما ستطوّر إليه خبرة القائمين عليها ، ستجعـل هذه المادة ، ضمن مجموعة مواد الانشاء ، ذات الأهميّة الخاصّة ، خصوصاً بعد التحسينات الكبيرة ، التي طرأت عليها في الآونة الأخيرة .

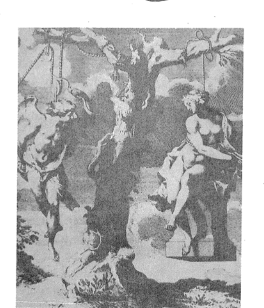
* **الخاتمة :**

- **6.09** : يعتمد اختيار مادة الإنشاء الأفضل ، بشكل كبير ؛ على شكل المنشأة . ومع ذلك نرى اليوم ، أنّ أساليب التصميم المتطوِّرة الحديثة ، أزالت حواجز الشكل ، ومكّنت من استخدام مواد الإنشاء الرئيسيَّة ، لأيِّ منشأة ، مهما كان شكلها ، وبذا أصبح اختيار مادة الإنشاء ، مشروطاً بعوامل خارجة عن نطاق شكل المنشأة فحسب .

- **6.10** : يؤثِّر على اختيار مادة الانشاء ، مجموعة من العوامل أهمُّها : شكل المنشأة ، متطلبات إنشاء الأساسات ، توافر المادة محلياً ، اعتبارات الموقع ، العوامل الإنشائيّة ، ومدّة التنفيذ المتاحة .

الفصل الثاني

نظريات التوازن وأسس حساب مقاومة المواد



● المقدمة :

- 1.01 : لقد اعتقد معظم المعماريون ، أنّ التحليل الإنشائي ، يعتمد أوّل ما يعتمد ، علىٰ الرياضيّات الصرفة ، وعلىٰ تطبيقاتها المختلفة . إلاّ أنّ هذا ، ليس صحيحاً تماماً . إنّ الرياضيّات وقوانينها ، أداة هامة من أدوات الإنشائي ، إلا أنّها لوحدها ، تعدُّ قاصرة ، وعاجزة عن حلّ كافة مسائل التحليل الإنشائي . إنّ إختبار المنشآت المتواجدة ، صنع نماذج مطابقة ، والتحليل الدقيق للنتائج ، كلُّ ذلك سيساعدنا أكثر ، علىٰ التقرُّب من الهدف المنشود .

- 1.02 : إضافة إلىٰ ما ذكرنا ، ينبغي أن يكون واضحاً ، أنّ أعقد الطرق والأساليب الرياضيّة ، وأكثر التحاليل دقّة ، لا تستطيع أن تجيب بأسلوب أكثر دقّة ، من تلك التي تستطيعه إفتراضات أساسيّة ؛ إذ أنّ قوانين الرياضيّات ، لا تستطيع أن تحلّ مشاكل ، تستطيعها بكفاءة أكثر ، نماذج صمّمت مشابهة تماماً لشكل البناء ، وهو في حالته النهائيّة ، لكون التحليل الرياضي يعتمد علىٰ بناء نموذج إنشائي مبهم ، بينما توحي إلينا حدود شكل النموذج الواقعي ، في كل حالة ، الطريقة التي يمكن بها حلُّ المشكلة الإنشائية .

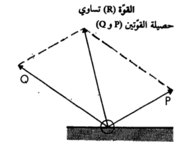
هذا وسنتناول في هذا الفصل ، نظريّات التوازن ومعادلات الإجهاد البسيطة . متنقلين منها ومستعينين بها ، في حساب ثوابت مقاطع عناصر البناء الحاملة ، مختتمين الجزء ، بجداول نموذجيّة ، تحوي ثوابت مقاطع الجسور الحاملة .

● نظريات التوازن :

* القوىٰ :

- 2.01 : يتعذّر علينا إيجاد تعريف دقيق للقوّة ، فهي معروفة من خلال تأثيراتها المتمثّلة : بالتسارع ، الإجهاد ، وهكذا . . . . .

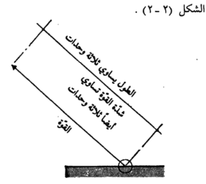
- 2.02 : للقوّة ثلاثة خصائص تميّزها : الشدّة ، الإتجاه ، ونقطة التطبيق . يمكننا تمثيل الخصائص الثلاثة هذه ، بخط مستقيم ، طوله يمثّل إصطلاحاً شدّة القوّة



الشكل (١ ـ ٢) : تمثّل القوّة بخط مستقيم ، طوله متناسب مع مقدار القوّة «شدتها» .

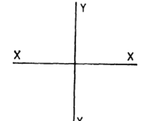
أنظر الشكل (١ ـ ٢) .

- 2.03 : يمكننا إرجاع قوّتين أو أكثر ، تؤثّران على نقطة واحدة ، تمثّل القوتين معاً ، تسمّىٰ محصّلة القوتين . نستطيع استنتاج شدّة واتجاه محصّلة القوتين ، بتطبيق القاعدة المسمّاة ، بقاعدة متوازي أضلاع القوىٰ أنظر الشكل (٢ ـ ٢) .



الشكل (٢ ـ ٢) : يوضّح الشكل متوازي أضلاع القوىٰ .

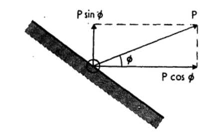
- 2.04 : وبالعكس ، نستطيع تحليل أيّة قوّة ، إلىٰ قوّتين منفصلتين ، تدعيان مركّبتي القوّة ، تعملان وفق اتجاهين معطيين . مركّبتي القوّة المستنتجتين ، تعملان في مستو واحد فقط . القوّة (P) ، تصنع زاوية (Ø) مع المحور الأفقي الموجّه (XX) ، أنظر الشكل (٣ ـ ٢) . نستطيع تحليل القوّة هذه إلىٰ مركبتيها ، فتكون القوّة الأولىٰ ، مساوية في شدّتها (PcosØ) ، وإتجاه تأثيرها ، إتجاه المحور



الشكل (٣ ـ ٢) : يوضّح الشكل مخطّطاً تقليديا اصطلاحياً ، يظهر فيه المحورين المتعامدين (X ـ X) و (y - y)

(XX) ، والثانية شدّتها تساوي (PsinØ) ، وإتجاه تأثيرها ، اتجاه المحور (y y) ، أنظر الشكل (٤ ـ ١) .

- 2.05 : يمكن أن تحلّ محصلة القوىٰ ، محلّ مركّباتها ، والعكس بالعكس . إنّ عمليّة حلول القوّة محلّ مركّباتها ، ومركّبات القوّة محلّ محصّلتها ، لا تفسد التوازنات الموضحّة في الفقرة (2.12) .



الشكل (٤ ـ ٢) : يظهر الشكل طريقة تحليل القوىٰ ، إذ تحلّل القوّة (p) إلىٰ مركبتيها الأفقيّة والشاقوليّة .

* العـــزم :

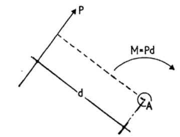
- **2.06** : لإدراك مفهوم العزم ، لا بّد أولاً من فهم نظام مستوي القوىٰ . إنّ النظام هذا ، يحدُّ نفسه ببعدين ، ونستطيع تمثيله علىٰ قطعة من الورق بخطوط ، كما هو موضّح في الفقرة (2.02) . لا توجد قوىٰ تعمل خارج المستوي هذا ، أو ضمن مستوي الورقة .

- **2.07** : يمكن أن نجد عزم قوّة حول نقطة ، بإيجاد حاصل ضرب شدّة القوّة ، بالمسافة المحصورة ما بين النقطة هذه ، ونقطة تأثير القوّة . وبالتالي يكون العزم (M) للقوّة (P) ، حول النقطة (A) ، هي ناتج جداء (P) ، الممثّلة لشدّة القوّة ، بالمسافة (D) ، الممثّلة لبعد خط تأثيرها عن النقطة (A) ، والمقاسة عموديّة علىٰ اتجاه خط التأثير (منحاها) ، أنظر الشكل (٥ ـ ٢) . أي :

العزم = القوّة × المسافة

$$M = P \times D .$$

- **2.08** : ولكن في حال كانت القوىٰ تعمل في ثلاث اتجاهات ، كما في حال النقطة (A ، فإنّ محوراً عاموديّاً علىٰ مستوي الورقة ، لا بّد من إنشائه لفهم التطبيق .



الشكل (٥ ـ ٢) : يوضّح الشكل طريقة أخذ عزم قوّة حول نقطة ، وكما نشاهد ، يساوي هذا العزم : شدّة القوّة (p) × المسافة (d) .

* **المزدوجة :**

- **2.09** : تتشكّل المزدوجة من قوّتين ، متساويتين في الشدّة ، كل منها تساوي (P) ، منحاهما متوازيين ، ومتعاكسين في الإتجاه ، والمسافة المحصورة فيما بينهما تساوي (D) . إنّ العزم (M) ، للقوى تلك ، حول أيّ نقطة (A) ، تبعد مسافة (X) ، عن أيّ منهما ، تعطى بالقاعدة التالية :

العزم = القوّة × المسافة (X) + القوّة [المسافة D ـ المسافة (X)] = القوّة × المسافة d

أو :

$M = P.x + p(d - x) = P.d$.

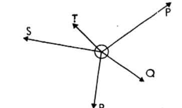
أنظر الشكل (٦ ـ ٢) . نلاحظ أنّ القيمة هذه ، هي قيمة مستقلّة ، عن موضع النقطة التي أخذ حولها العزم . تشكّل القوتين مزدوجة ، أو عزماً صافياً . إنّ قيمة المزدوجة ، في مستو معطى ، هي قيمة ثابتة ، في أيّ نقطة من نقاط ذاك المستوي .

الشكل (٦ ـ٢) تعرّف المزدوجة بأنها قوّتان متساويتان في الشدّة ، متوازيتان ومتعاكستان في الإتجاه .

* التــــوازن :

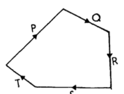
- 2.10 : ينتج عن تطبيق قوّة (P) ، في جسم حر ، كتلته (m) ، متواجد في فراغ ، تحرُّك الجسم بتسارع يساوي P/m . إن لم يتحرّك الجسم ، أو تحرّك بسرعة ثابتة ، في وسط لا احتكاك فيه ، كانت القوى المؤثّرة على الجسم ، قوى متوازنة . ذلك يعني ، أنّ محصلة كافة القوى المطبّقة تساوي صفراً .

- 2.11 : الإفتراض الأوّل ، هو أن يكون الجسم بسيطاً جداً ، بسيطاً بما يكفي في الواقع ، لأن يمثّل



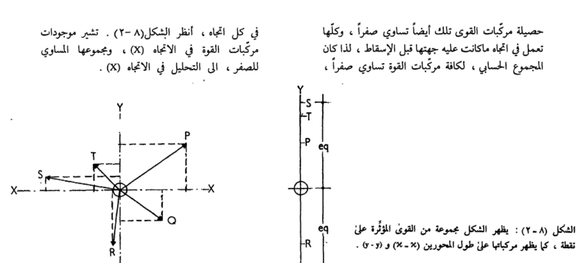
الشكل (٧ - ٢ - آ) : تعمل القوىٰ في نقطة متوازنة ، لذا كانت محصّلتها تساوي صفراً .

بنقطة . إن كانت النقطة الماديّة متوازنة ، فمحصّلة كافة القوى ، المطبّقة عليها تساوي صفراً ، أنظر الشكل(٧ - ٢ - آ) . عوضاً عن استخدام قاعدة متوازي أضلاع القوى ، الموضّحة في الفقرة (2.03) ، نستخدم مضلّع القوى ، الموضّح في الشكل(٧ - ٢ - ب) . وبالمقابل تحلّل القوة الى مركبتين ، الأولى منحاها على اتجاه المحور(x) ، والثانية منحاها على اتجاه المحور (y) .



الشكل (٧ - ٢ - ب) : يظهر الشكل مضلّع القوىٰ ، حيث تمثّل قيمة واتجاه القوىٰ ، بطول واتجاه الخطوط .

حصيلة مركّبات القوى تلك أيضاً تساوي صفراً ، وكلّها تعمل في اتجاه ماكانت عليه جهتها قبل الإسقاط ، لذا كان المجموع الحسابي ، لكافة مركّبات القوة تساوي صفراً ، في كل اتجاه ، أنظر الشكل(٨ -٢) . تشير موجودات مركّبات القوة في الاتجاه (X) ، ومجموعها المساوي للصفر ، الى التحليل في الاتجاه (X) .



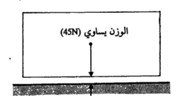
الشكل (٨ ـ ٢) : يظهر الشكل مجموعة من القوىٰ المؤثّرة علىٰ نقطة ، كما يظهر مركباتها علىٰ طول المحورين (x ـ x) و (y - y) .

- 2.12 : إن لم تكن النقطة المادية في حالة توازن ، وكانت لمحصِّلة القوى المؤثِّرة عليها قيمة ، فإنّ قوّة معادلة للمحصِّلة في شدِّتها ، ومعاكسة لها تماماً في الإتجاه ، تسبِّب للنقطة الماديّة ، مايسمّى بتوازنها . وتدعى القوّة هذه ، بالقوّة الموازنة . على سبيل المثال ، إن استندت قطعة بلوك وزنها(45) نيوتن ، على منسوب أعلى الطاولة ، فإنّ قوّة معاكسة لها في الإتجاه ، تساوي (45) نيوتن ، تتولّد في أسفل الطاولة ، أنظر الشكل (٩ - ٢) . عند التجربة نلحظ ، أنّ قطعة البلوك لا تتحرّك ، لأنّ الطاولة قد تولّد فيها ، رد فعل مساوٍ للفعل في الشدّة ، ومعاكس له في الإتجاه . ذلك الطراز من القوى الموازنة تدعى ردود الأفعال . تلك التجربة تثبت القانون الأوّل في التوازن ، والذي نصّه :

لكل فعل رد فعل ، مساوٍ له في الشدة ، ومعاكس له في الإتجاه .

- 2.13 : الآن سنتناول جسماً ماديّاً صلداً ، له أبعاد محدّدة ، ومتواجد في فراغ . القوّة تعمل في الجسم هذا ، فتؤثّر عليه بطريقة مغايرة ، عن تلك التي وقعت على النقطة الماديّة . القوى تلك لا تطبّق كلّها ، عند نقطة واحدة ، ولكن عند عدد من المواقع الواقعة حول النقطة ، وبالإمكان أن تعمل حتى في داخل الجسم .

نستطيع تحليل القوى تلك ، على محاور ثلاث (Z,y,x) . هذا ، وإنّ مجموع مكوِّنات القوى على المحاور الثلاث هذه ، ينبغي أن تساوي صفراً ، إن كان الجسم في حالة توازن ، أي أنّ الجسم المتوازن ، لا يتحرّك نحو الأعلى والأسفل ، ولا حتى الى أيٍّ جانب من الجوانب الأربع . يوجد على أيٍّ حال ، شكل إضافي للحركة ، لم نستقصه بعد ، ألا وهو حركة دوران الأجسام .



ألشكل (٩ - ٢) : يوضِّح الشكل قانون التوازن الأوّل والذي ينص على أنّ لكل قوّة ، أو لكل فعل ، رد فعل مساو له في الشدّة ومعاكس له في الإتجاه .

- **2.14** : إذا كان الجسم ساكناً لا يدور ، فإنّ عزوم القوى على ذاك الجسم أيضاً متوازنة . في الأجسام المستوية ، أي الأجسام من ذوات البعدين فقط ، يمكن لنا أخذ العزوم حول أيٍّ نقطة منها ، بحيث يكون مجموع عزوم كافّة القوى ، عند أيٍّ نقطة من نقاط الجسم ، مساوية للصفر . وفي الأجسام ذات الأبعاد الثلاثة ، تؤخذ العزوم حول أيٍّ محور من محاورها الثلاثة ، فنجد في حال السكون ، أنّ مجموع العزوم واحد ، عند أيٍّ محور من المحاور الثلاثة ، ويساوي صفراً .

- **2.15** : ينبغي أن تكون المعادلات الأربع المطبّقة على جسم ذي بعدين ، في حالة توازن : ١و ٢ : وتعنى بتحليل القوى الى اتجاهين مختلفين . .

٣و ٤ : وتعنى بأخذ العزوم حول نقطتين مختلفتين .

فقط ثلاثة من تلك المعادلات الأربع تبقى مستقلّة .

وبالقوانين الجبريّة ، يمكننا ومن خلال المعادلات الثلاث هذه ، معرفة قيم ثلاثة مجاهيل متباينة . إذا لم تكفي المعادلات هذه ، لإيجاد كافة القوى المطبّقة على الجسم ، سميّت الجملة ، جملة غير مقرّرة سكونيّاً .

- **2.16** : يمكننا تحديد وحساب القوى المؤثّرة على جسم متوازن ذي أبعاد ثلاثة ، من خلال مايلي :

١ - تحليل القوى المؤثّرة على الجسم المادي ، باسقاطها على محاور ثلاث .

٢ - بأخذ عزوم القوى حول المحاور الثلاث .

يمكننا من خلال المعادلات الست ، استنتاج قيم خمسة مجاهيل إن عرف سادسها .

مثال :

- 2.17 : نجد في المثال الموضّح في الشكل (١٠ - ٢) ، جسماً مستوياً . لكي يتوازن الجسم أفقيّاً ، لا بد من أن تكون مجموعة القوى المؤثّرة أفقياً ، مساوية للصفر .
(ينبغي أن تكون محصّلة القوى الأفقيّة مساوية للصفر ، إن كان الجسم ساكناً) $P-100 = 0$

$P = 100$

الآن لنأخذ قيم العزوم حول النقطة (X) ، وهي نقطة تقاطع القوّتين (Q,P)

$R \times 6 - 100 \times 3 = 0$

$R = 50$

أخيراً لنحلّل مجموعة القوى على محور شاقولي :

$R - Q = 0$

$Q = R$

ولكن : $R = 50$

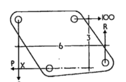
إذاً : $Q = 50$

في مثالنا هذا ، نجد ثلاثة مجاهيل «R,Q,P» ، لذا كانت المعادلات الثلاث ، كافية لإيجاد مقاديرها ..

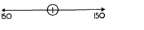
* القوى والعزوم «الخلاصة» :

- **2.18** : هناك ثلاثة حقائق بديهية هامّة ، ينبغي علينا دوماً تذكّرها :

١ - إنّ عبارة توازن قوّتان في نقطة تطبيقهما تعني أنّ القوّتان متساويتان في المقدار ، ومتعاكستان في الإتجاه ، انظر الشكل(١١ -٢) .



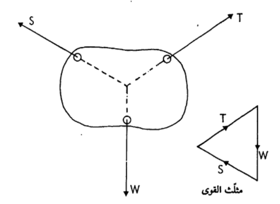
الشكل (١٠ - ٢) : يوضّح الشكل المثال الوارد في الفقرة (2.17) ، حيث أظهر كيفيّة حساب القوى (R ,Q ,P) .



الشكل (١١ - ٢) : إنّ القوّتان المتوازنتان ، ينبغي عليهما أن يتساويا في الشدّة ويتعاكسا في الإتجاه .

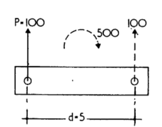
٢ - إنّ توازن ثلاث قوى ، تتلاقى مناحيها في نقطة واحدة يعني : أنّ قواها الثلاث ، تشكّل معاً ، أضلاع مثلث القوى ، انظر الشكل (١٢ -٢) .

٣ - نستطيع استبدال القوة (P) ، المطبّقة على نقطة



الشكل (١٢ - ٢) : لكي تكون القوى الثلاث متوازنة ، لابدّ أن تشير اتجاهاتها ومقاديرها إلى مثلث القوى فتغلقه .

ما ، بقوّة مساوية لها ، مطبقة على أيِّ نقطة أخرى ، تقع في اتجاه موازي لإتجاه النقطة الأولى ، وبعدها عن خطِّها الأصلي يساوي (d) ، مضافاً اليها عزم مزدوجة تساوي (pd) ، انظر الشكل (١٣ -٢) .



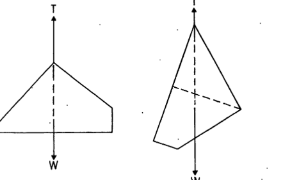
الشكل (١٣ - ٢) : يمكن استبدال قوّة ما تعمل في نقطة ، بقوّة أخرى مساوية لها في الشدّة تعمل في نقطة أخرى ، مضافاً إليها عزم مزدوجة يساوي جداء شدّة القوّة بالمسافة المحصورة عامودياً ما بين نقطتي التأثير .

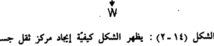
وفي مثالنا يمكن استبدال القوّة (p) ، بقوّة تساوي (p)مضافاً إليها عزم مزدوجة يساوي :

$$500 = 100 \times 5 = P \times 5$$

* ميكانيكية الأجسام الصلدة :

- 2.19 : تعبّر لفظة الجسم الصلد ، عن الكتلة المادّية للجسم ، لذا فهي خاضعة للجاذبيّة الأرضيّة ، الممثّلة بقوة تعمل على جرّ الجسم للأسفل ، تدعى وزن الجسم . إن علّق الجسم بخيط ، فلا بدّ للخيط أن يدور ، الى أن يصبح منحى قوّة الشد الخاضع لها الخيط هذا ، هو ذاته منحى القوّة الممثّلة لوزن الجسم . تمر خطوط تأثير وزن الجسم دوماً ، من نقطة واحدة بعينها ، تقع ضمن محيط الجسم ، حتى وإن تغيّرت نقطة تعليق الخيط ، أنظر الشكل(١٤ -٢) . تدعى النقطة هذه «مركز الثقل» ، فاذا استطعنا تكثيف كتلة الجسم ، لتصبح كلّها في النقطة هذه ، فإنّ تصرّفاتها تحت وطأة القوى الخارجية ، سيكون مشابهاً لتصرّفات الجسم ككل .



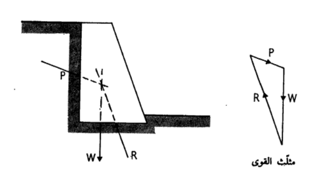


الشكل (١٤ -٢) : يظهر الشكل كيفيّة إيجاد مركز ثقل جسم مادي .

- مثال :

- 2.20 : إنّ نموذج الجسم الصلب ، المناسب لمثالنا هذا ، هو جدار استنادي .

لنفترض أنّ الجدار الحقيقي ، يمتد على كامل الكتف الترابي ، إلاّ أنّنا ماسندرسه منه ، هو شريحة تقع في وسط الجدار هذا ، أنظر الشكل(١٥ -٢) .



الشكل (١٥ - ٢) : يظهر الشكل مجموعة القوىٰ المؤثّرة علىٰ جدار استنادي ، حيث يمكن من خلال استخدام مثلّث القوىٰ ، ومن خلال معرفتنا لمقدار ؛ واتجاه القوّتين (p) و (W) ، معرفة مقدار واتجاه رد الفعل (R) .

- 2.21 : هناك ثلاثة قوى ، تؤثّر على شريحة الجدار هذا وهي :

١ - وزن الشريحة الذاتي ، وقد مثّلناها بالقوة (W) ، وهي قوّة نقطة تأثيرها ، هي مركز ثقل الشريحة .

٢ - قوّة رفس التربة ، وهي قوّة مثّلناها بالقوّة (P) ، الواقعة خلف الجدار . تشير نظرية ميكانيك التربة ، أنّ قوى رفس التربة ، تؤثّر على الأجسام ، كما هو موضح في الشكل (١٥ -٢) .

٣ - قوة رد الفعل ، المتولّدة عند نقطة تقع أسفل قاعدة الجدار ، وقد مثلناها بالقوّة «R» .

- 2.22 : إنّ مناحي القوى الثلاث ، لا بدّ أن تتقاطع في نقطة واحدة . لذا كان لا بد لمنحى رد الفعل ، من أن يمر من نقطة تقاطع القوة (W) ، الممثّلة لوزن الجسم ، مع قوة رفس التربة ، الممثّلة بالقوّة (P) . يمكن لنا أن نحصل على مقدار واتجاه القوّة ، الممثّلة لرد الفعل ، من خلال مثلث القوى ، أنظر ثانية الشكل (١٢ -٢) . اذا لم يجتاز رد فعل الجدار ، كما هو مرسوم ، قاعدة الجدار ، بل سقط خارجها ، فإنّ الجدار سيسقط حتماً على الأرض .

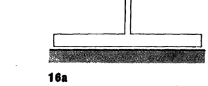
- 2.23 : ومما هو جدير بالملاحظة أيضاً ، أنّ الجدار سيظلُّ قابلاً للسقوط ، حتى وإن كان رد الفعل يمر من قاعدة الجدار ، اذا لم تقع نقطة المرور هذه ، في وسط ثلث قاعدة الجدار هذا .

● مقاومة المواد :

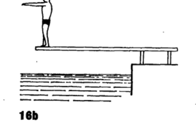
- 3.01 إنّ مادرسناه الى الآن، يتعلّق بنظريات التوازن ، حيث تفعل القوى وتؤثّر على المنشأة ككل . أمّا ماسندرسه لاحقاً ، فهو القسم الآخر من النظريّة الإنشائيّة ، المتعلّق بالقوى الفاعلة ضمن المنشأة . ستعالج الفقرة التي نحن بصددها ، كل ماله علاقة بالقوى الفاعلة ، ضمن مواد العناصر المكوِّنة للمنشأة .

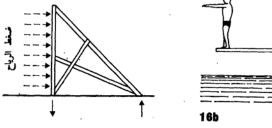
* المنشـــأة :

- 3.02 : المنشأة هي تجسيد للمادة ، تصاغ بطريقة ما ، تجعلها قادرة على إحداث تغيُّرات في قيمة ، موضع أو اتجاه قوى مألوفة ، بغية الإنتفاع بها ، أنظر الشكل (١٦ - ٢) .



الشكل (١٦ - ٢ - آ) : يساهم نموذج المنشأة هذه ، في اختزال شدّة القوّة .



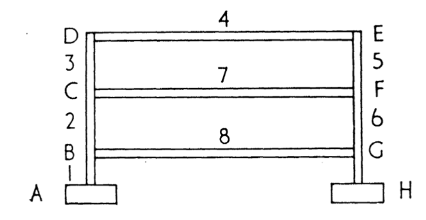


الشكل (١٦ - ٢ جـ) : يظهر الشكل تعدُّد اتجاهات القوّة

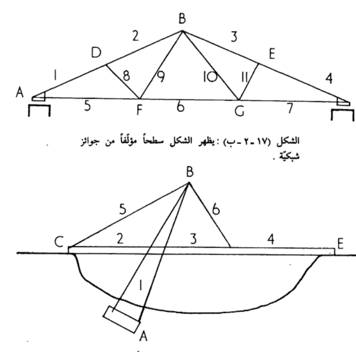
الشكل (١٦ - ٢ - ب) : يظهر الشكل تعدُّد مواضع تأثير القوّة .

الشكل (١٦ - ٢) : يظهر الشكل نماذج لمنشآت معروفة .

- 3.03 : تتألف المنشأة عادة ، من عناصر إنشائية ، كما يصنّع العنصر الإنشائي بدوره ، وفي أغلب الأحيان ، من مادة إنشائية واحدة ، وفي معظمها ، من مادتين متجانستين . إنّ العناصر الإنشائية ، إمّا أن تكون عناصر منشورية وموصولة الى عقدتين ، أو على شكل نقاط ، تتلاقى عندها عناصر أخرى ، أنظر الشكل (١٧ - ٢) .



الشكل (١٧ـ٢ـآ) : يظهر الشكل هيكل بناء .

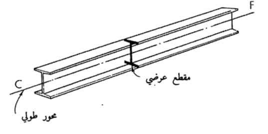


الشكل (١٧ ـ ٢ ـ ب) : يظهر الشكل سطحاً مؤلّفاً من جوائز شبكيّة .

الشكل (١٧ ـ ٢ حـ) : يظهر الشكل حبل أو كبل تثبيت الصاري ، حيث يرمز للعقد بأحرف ويشار إلى العناصر بأرقام ، أنظر الفقرة (3.03)

يدعى خط اتصال العقد هذه ، خط المحور الطولي للعنصر الإنشائي ، أما مقطع العنصر ، فهو شكل مستو ، ينشأ عن قطع العنصر ، وفق مستويات عمودية ، على المحور الطولي . يدعى العنصر ، عنصراً منشورياً ، إذا كانت مقاطعة لا تتغير ، على كامل طول محور العنصر الطولي ، انظر الشكل (١٨ – ٢) .

- 3.04 : يمكن أن تتألف المنشأة من كتل عشوائية ، ذات مكوِّنات شتى ، أو من عناصر لا منشورية ، تراكيبها متغيِّرة ، إلاّ أنّ الغالبية العظمى من المنشآت ، تندرج ضمن التصنيف المعياري . هذا ، وإنّ تحليل نماذج المنشآت الأخرى الشاذة ، لن ندخله في دراسات الفقرة هذه .



الشكل (١٨ ـ ٢) : يظهر الشكل مثالاً لعنصر منشوري ، حيث تكوِّن مقاطعه العرضيّة ، مقاطع ثابتة .

* الإجهاد :

3.05- عند دراسة القوىٰ المؤثِّرة علىٰ مقطع العنصر ، نجد من الضروري أن نقدِّم ، ما يساعد علىٰ إدراك مفهوم الإجهاد . إن كانت العيِّنة المدروسة ، عبارة عن مساحة مقطع صغيرة جداً ، فإننا نستطيع أن

الشكل (١٩ ـ ٢ ـ آ) : يظهر الشكل القوىٰ العاملة علىٰ المقطع .

الشكل (١٩ ـ ٢ ـ ب) : يظهر الشكل تأثير القوىٰ علىٰ مساحة صغيرة تساوي (δA) .

نفترض ، أنّ القوّة المؤثِّرة عليها ، تتوزّع علىٰ جزيئاتها بالتساوي ، وبالتالي سيكون الاجهاد الواقع على المساحة الصغيرة (δA) هذه ، مساوياً لحاصل قسمة (δP) ، علىٰ المساحة المساوية لـ (δA) ، أنظر الشكل (١٩ ـ ٢) أي :

$$\text{الإجهاد} = \frac{\delta P}{\delta A}$$

δA

19a

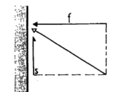
δP

$$\text{الإجهاد} = \frac{\delta P}{\delta A}$$

ـ 3.06 : تؤثّر قوىٰ الإجهادات عادة ، على سطح المقطع ، وفق زوايا ، لذا يستحسن تحليل تلك القوىٰ إلىٰ مركباتها ، أنظر الشكل (٢٠ ـ ٢) .

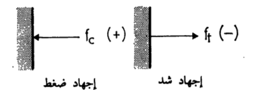
١) الإجهاد المباشر (F) ، وهو العامل بشكل عمودي على مستوي المقطع .

٢) إجهاد القص (S) ، وهو العامل موازي لسطح المقطع ، أو في مستوي المقطع .



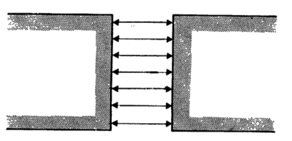
الشكل (٢٠ ـ ٢) : تحلّل قوّة الإجهاد إلىٰ قوّتين ، قوّة مباشرة (f) تعمل عامودية على المقطع ، وقوّة تعمل موازية للمقطع أو في مستوي المقطع ؛ تسمّىٰ إجهاد القص (S) . أشير إلىٰ إجهاد القص وجهته على المخطط ، بسهم رأسه وحيد الطرف .

ـ 3.07 : تسبّب الإجهادات المباشرة ، ضغوطاً أو توتّرات شدٍّ في المقطع ، وذلك استناداً إلىٰ نوعيّة ما تفضي إليه تلك الإجهادات ، من تأثيرات نلحظها علىٰ طول العنصر ، فإن تقلّص كانت الإجهادات ، إجهادات ضغط ، وإن طال كانت الإجهادات إجهادات شد . تكنّىٰ إجهادات الضغط ، بالإجهادات الموجبة ، بينما تكنّىٰ إجهادات الشد ، بالإجهادات السالبة ، أنظر الشكل (٢١ ـ ٢ ـ آ) .



الشكل (٢١ ـ ٢ ـ آ) : يظهر الشكل الإصطلاحات المتداولة للتفريق ما بين إجهادي الضغط والشد .

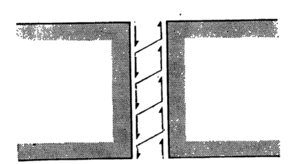
ـ **3.08** : من الأهميّة بمكان ، التمييز ما بين الإجهاد الفاعل على المقطع ، وبين الإجهاد المساوي له في القيمة ، والمعاكس له في الإتجاه ، أنظر الفقرة (2.12) . وكما وضّحنا في الفقرة (3.03) ، ينتج المقطع ، من اقتطاع عنصر الإنشاء ، وفق مستوي عمودي على المحور الطولي . إنّ اقتطاع العنصر وفق هذا المستوي ، يظهر لنا وجهين متقابلين ، كل وجه منهما يؤثّر على الآخر ، بإجهادات متساوية في القيمة ، ومتعاكسة في الإتجاه ، ونحن نقصد هنا من التعاكس في الإتجاه ، أنّ الإجهاد المتجه من اليسار إلى اليمين ، والمؤثّر على الوجه اليميني للمقطع ، يشتمل أيضاً على إجهاد متجه من اليمين إلى اليسار ، مساوياً له في القيمة ، ويؤثّر بدوره على الوجه اليساري للمقطع ، أنظر الشكل(٢١ ـ ٢ ـ ب) . على أيٍّ حال ، يقوم كلا الإجهادين ، الموضّحين في الشكل هذا ،



الشكل (٢١ ـ ٢ ـ ب) : يظهر الشكل إجهاد الضغط على طرفي مقطع ، حيث تعمل كل قوّة باتجاهين متقابلين .

علىٰ تقليص طول العنصر ، لذا يدعيان كليهما ، إجهادات ضغط ، إنّ اتجاه إجهادات القص ، نحو الأسفل ، علىٰ الوجه اليساري للمقطع يعني ، أنّ هناك إجهادات قص ، تتجه نحو الأعلىٰ ، تؤثّر علىٰ الوجه اليميني للمقطع ، أنظر الشكل (٢١ ـ ٢ ـ حـ) .

ـ 3.09 : من المناسب عادة ، اعتبار الإجهادات ، قوىٰ تؤثّر علىٰ المقطع ، وليست بقوّة تنطلق منها إلىٰ الخارج . إذا كانت كافة القوىٰ ، ذات القيم البسيطة جداً ، تؤثّر مباشرة علىٰ المقطع ، فإنّه بالإمكان جمعها ، لتكوّن معاً قوّة مقدارها (P) ، هي الفاعلة في المقطع .



الشكل (٢١ ـ ٢ ـ حـ) : يظهر الشكل إجهادات القص علىٰ طرفي المقطع ، حيث يعمل إجهاد القص وجهته نحو الأعلىٰ علىٰ الوجه اليميني ، ونحو الأسفل علىٰ الوجه اليساري .

ـ 3.10 : إنّ مقدار القوّة الضئيل (δP) ، المؤثّرة على مساحة صغيرة جداً ، يساوي إلى (F × δA) ، وذلك استناداً إلى المعلومات الواردة في الفقرة (3.05) . يمكننا عند إضافة القوى الصغيرة هذه ، إلى بعضها البعض ، كتابة العلاقة التالية :

$$P = \Sigma (F \times \delta A)$$

إنّ الإصطلاح (Σ) ، يعني أنّنا نريد أخذ مجموع الكميّات الواردة ضمن القوس ، كما نعني بـ (δA) ، قطعة من المقطع ، مساحتها صغيرة جداً .



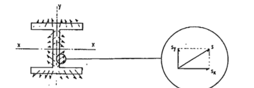
الشكل (٢٢ ـ ٢) : يمكن لنا تجميع الإجهادات المباشرة الواقعة على المقطع ، لنخلص منها إلى قوّة مباشرة كليّة تساوي (p) .

ـ3.11 : يمكننا أيضاً تجميع قوى القص ، أنظر الشكل (٢٣ ـ ٢) . كما نعلم تنطلق قوى القص ، المنبعثة عن مستوي المقطع ، في كافة الإتجاهات ، لذا يستحسن تحليل القوى هذه ، إلى مركبتيها الشاقوليّة والأفقيّة ، وذلك على المحورين (x-x)الأفقي و (y-y) الشاقولي . وبذا يمكننا كتابة العلاقتين التاليتين :

$$Sx = \Sigma (Sx \times \delta A)$$

$$Sy = \Sigma (Sy \times \delta A)$$

S = قوة القص الإجماليّة

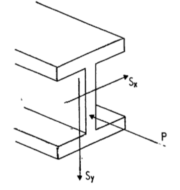


الشكل (٢٣ ـ ٢) : تحلّل إجهادات القص الواقعة على المقطع إلى مركبتين شاقوليّة وأفقيّة .

- 3.12 : تحوّلت الآن القوىٰ الثلاث الصغيرة ، المؤثّرة علىٰ المقطع ، إلىٰ ثلاثة قوىً ، ذات ثلاثة اتجاهات متعامدة : «P» ، Sx ، و Sy ، أنظر الشكل (٢٤ ـ ٢) . علىٰ أيِّ حال ، إنّنا لا نعرف نقاط تأثير تلك القوىٰ ، فذلك يعتمد علىٰ التوزيع الحقيقي والفعلي للإجهادات ضمن المقطع . للسير قدماً في هذه الدراسة ، لا بد من دراسة الشكل الهندسي للمقطع :

* الشكل الهندسي للمقطع :

- 3.13 : لندرس المقطع الموضّح في الشكل (٢٥ ـ ٢) . في البدء ، ننشىء المحورين (X) و(y) ، بحيث يشكّلان محورين تناظر للمقطع ، أي يصبح لكلٍّ نقطة من نقاط المقطع ، نظيراً لها ، بحيث تقع كلا النقطتين ، علىٰ طرفي محور التناظر . إنّ مساحة النقطة هذه تساوي (δA) .



الشكل (٢٤ ـ ٢) : يظهر الشكل القوىٰ العاملة علىٰ المقطع بشكلها النهائي حيث : «P» القوّة المباشرة ، (Sy ,Sx) قوتي القص .

ـ 3.14 : إذا أضيفت مساحة النقاط إلىٰ بعضها البعض ، لكانت مساحة المقطع تساوي :

$$A = \Sigma\ \delta A.$$

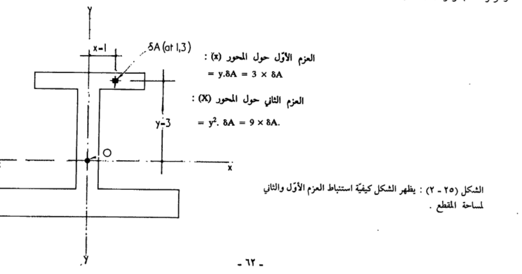
ـ 3.15 : إنّ قيمة عزم المساحة الصغيرة حول المحور «y» ، هي $(x \times \delta A)$. إذا أضيفت العزوم هذه ، إلىٰ بعضها البعض ، أعطتنا العزم الأوّل لمساحة المقطع ، ولنرمز له بالرمز (G) . إذاً :

$$Gy = \Sigma\ (x \times \delta A).$$

$$Gx = (y \times \delta A).$$

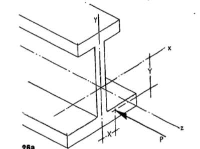
* مركز المساحة :

ـ 3.16 : إن كان المقطع متناظراً حول المحورين (y و x) ، فإن لكلّ مساحة صغيرة ، معادلاً لها على الطرف الطرف المقابل للمحور ، وبالتالي فإنّ قيمتي (Gx) و (Gy) تساويان الصفر .



الشكل (٢٥ ـ ٢) : يظهر الشكل كيفيّة استنباط العزم الأوّل والثاني لمساحة المقطع .

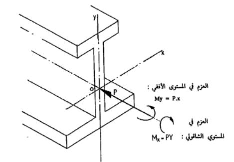
حتى في حالة كون المقطع ، لا يحوي على محور للتماثل ، فإنّه يمكننا دوماً ، اختيار المحورين (x) و (y) ، بحيث يكون عزم المساحة الأولي حولهما يساوي الصفر . يدعى أصل المحورين هذين(وهو نقطة تقاطعهما) ، مركز مساحة المقطع . اذا اقتطع شكل المقطع المرسوم على ورق المقوّى ، من الورقة ، كان مركز ثقل الشكل هذا ، هو ذاته مركز المساحة . إنّ هذا يدعونا بالتالي للقول ، أنّه اذا كان العز[illegible]» يساوي صفراً ، حول محورين مارين من النقطة هذه ، فإنّه أيضاً يساوي صفراً ، حول أيِّ محورين آخرين ، يصنعان أيّة زاوية بينهما ، ومارين أيضاً من ذات النقطة .



الشكل (٢٦ ـ ٢ ـ آ) : يتعرّض العنصر الإنشائي الأفقي لقوّة مباشرة (P) .

3.17 – : يفترض أن يمر المحور الطولي ، لعنصر إنشائي متناظر ، خلال مراكز مساحة كافة مقاطع العنصر .

3.18 – : في عنصر انشائي أفقي بسيط ، كالموضّح في الشكل (٢٦ – ٢) ، يمر المحور الطولي ، من مركز مساحة المقطع . أمّا المحورين الأفقي (x) ، والشاقولي (y) ، فلا بّد لهما أيضاً ، من أن يمرّا من نقطة مركز المساحة ذاتها .



الشكل (٢٦ ـ ٢ ـ ب): تستبدل القوّة (P) ، بقوّة تساويها في الشدّة ، تعمل في مركز المساحة ، وبعزمي مزدوجتين (Mx و My) ، تسميان بعزوم الفتل .

* عــــزوم الفتل :

- 3.19 : استـطعنـا من خـــلال معلومـات الفقرة (3.12) ، ومن ملاحظة الشكل (٢٤ -٢) ، اختزال كافة القوى المؤثرة على مقطع العنصر ، الى ثلاثة قوى أساسيّة ، متعامدة الإتجاهات وهي : «P» ، «Sx» ، و«Sy» . سنعالج ونتدارس القوّتان (Sx و Sy) ، في فقرة لاحقة . أما الآن فستتناول بالدرس والتحليل ، القوّة المباشرة (P) .

- 3.20 : عندما تجمع كافة العناصر الصغيرة المكوِّنة للقوّة المؤثِّرة على المقطع ، الى بعضها البعض ، فإنّا نجد أنّ قيمة محصِّلتها تساوي (P) ، أنظر الشكل (٢٢ -٢) إنّ موضع نقطة تأثير محصِّلة القوى هذه غير معلومة . لنفترض أنّ القوّة هذه تعمل ، عند نقطة تقاطع المحورين (x و y) ، انظر الشكل (٢٦ - ٢ - آ) .

- 3.21 : كما وضّحنا في الفقرة (2.18) ، نستطيع استبدال قوّة ما ، تؤثّر على نقطة ما ، بقوّة مكافئة لها بالقيمة ، تؤثّر في نقطة اخرى ، اذا أضيف لتلك القوّة الأخيرة ، عزم مزدوجة تساوي جداء القوّة ، بالبعد مابين النقطتين . في الحالة التي بين أيدينا ، يمكننا استبدال القوّة ، التي بعدها عن المحور الأفقي (x) ، وعن المحور الشاقولي (y) ، بقوّة تعمل في نقطة تقاطع المحورين (O) ، حيث (O) ، هي مركز مساحة المقطع ، مضافاً اليها عزمي مزدوجة ، قيمتاها (Px) و(Py) ، تعملان في المستويين الافقي والشـاقولي عـلى التـوالي ، انـظر الشكـل (٢٦ -٢ - ب) .

- 3.22 : كافة العناصر البسيطة المكوِّنة للإجهاد المباشر المؤثِّر على المقطع ، يمكن لنا الآن استبدالها بقوّة مقدارها (P) ، تمر من مركز مساحة المقطع ، مضافاً إليها مزدوجتين . تدعى المزدوجتين هاتين، عزمي الثني ، حيث يرمز للعزم العامل على المستوي الأفقي بـ (M_y) ، ولذلك العامل على المستوي الشاقولي بـ (M_x) .

- **3.23** : يساهم كل عنصر بسيط من مكوِّنات الإجهاد ، في تشكيل كلٍّ معادلة من معادلات الاجهاد .
يمكننا تفنيد مكوِّنات الاجهادات الى مايلي :
(f_a) : ونقصد بها جزء من الاجهاد ، اذا أضيف الى بعضه البعض ، كانت محصِّلتها القوة (P) ، العاملة في مركز مساحة المقطع .
(f_{bx}) : ونقصد بها جزء من الاجهاد ، ان جمعت الى بعضها البعض ، لكانت حصيلتها (My) .
إنّ الاجزاء المنفصلة هذه ، تكون كافة اشكال الاجهادات العاملة في نقاط متماثلة ، لذلك يمكن ان نكتب :

$$f = f_a + f_{bx} + f_{by}$$

- **3.24** : من التعاريف التي تناولتها الفقرة السابقة ، يمكننا كتابة المعادلات السابقة ، بصيغ جديدة ، انظر الشكل (٢٧ - ٢) :

$$P = \Sigma f \times \delta A.$$

$$M_x = \Sigma f \times y \times \delta A.$$

$$My = \Sigma f \times x \times \delta A.$$

- **3.25** : إنّ براهين الإفتراضات التالية ، سنتناولها في الفقرة (3.47) ، اذ لم نجد من المناسب تناولها هنا، لكونها تعتمد على مفهوم الانفعال «التوتّر» ، والذي لم نتناوله بعد . في هذه الفقرة، سنسلّم بصحّة الافتراضات التالية :

١ - (f_a) : هي ثابتة في قيمتها على كامل نقاط المقطع .

٢ - إنّ قيمة (f_{bx}) ، لها علاقة ببعد نقطة تأثير الإجهاد هذا ، عن المحور (x).
ذلك يعني أنّ : $f_{bx} = K.y$
حيث (K) هي قيمة ثابتة .

٣ - ترتبط بشكل مشابه ، قيمة (f_{by}) ، ببعد نقطة تأثير الإجهاد هذا ، عن المحور (y) . وهذا يعني أنّ :

$$f_{by} = j.x$$

حيث (j) هو ثابت آخر .

3.26 - : اذا اعدنا صياغة المعادلة المدرجة في الفقرة (3.23) ، بتعويض كلٍّ بما يساويه ، نجد أنّ :

$$f = f_a + K.y + j.x$$

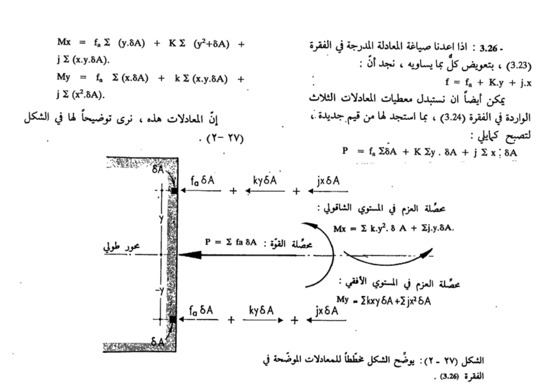
يمكن أيضاً ان نستبدل معطيات المعادلات الثلاث الواردة في الفقرة (3.24) ، بما استجد لها من قيم جديدة ، لتصبح كمايلي :

$$P = f_a \Sigma \delta A + K \Sigma y . \delta A + j \Sigma x . \delta A$$

$$Mx = f_a \Sigma (y.\delta A) + K \Sigma (y^2+\delta A) + j \Sigma (x.y.\delta A).$$

$$My = f_a \Sigma (x.\delta A) + k \Sigma (x.y.\delta A) + j \Sigma (x^2.\delta A).$$

إنّ المعادلات هذه ، نرى توضيحاً لها في الشكل (٢٧ -٢) .



الشكل (٢٧ - ٢): يوضّح الشكل مخطّطاً للمعادلات الموضّحة في الفقرة (3.26) .

- 3.27 : يمكن من خلال معطيات الفقرة (3.16) ، اثبات ان قيمة كلّاً من :

$\Sigma(x.\delta A)$ و $\Sigma(y.\delta A)$ تساوي الصفر ، لكون المحورين (x و y)، يمرّان عبر مركز مساحة المقطع .

- 3.28 : إنَّ ما كان صحيحاً في الفقرة السابقة ، ليس صحيحاً فيما يخصُّ القيمتين : $\Sigma(x^2.\delta A)$ و $\Sigma(y^2.\delta A)$ ، إذ تدعى القيمتين هاتين ، بالعزوم الثانية لمساحة المقطع ، او تسمى احياناً بعزوم العطالة ، ويرمز لهما بالرمزين (I_x و I_y) .

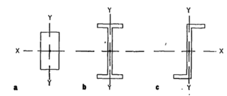
- 3.29 : ان قيمة الحد $\Sigma(x.y.\delta A)$ يسمى بناتج العطالة ، ويرمز له بالرمز (I_{xy}) .

- 3.30 : يمكننا الآن صياغة المعادلات المدرجة في الفقرة (3.26)، على الشكل التالي :

$$P = f_a.A$$
$$M_x = K.I_x + j.I_{xy}$$
$$My = K.I_{xy} + j.I_y$$

هذه هي معادلات العزوم الاساسية ، بشكلها العام . في معظم الأمثلة العملية ، الهادفة الى حساب العزوم المؤثرة على المقاطع ، نجد أن قيمة الرمز (I_{xy}) يساوي صفراً . وذلك نتيجة لكون معظم المقاطع ، متناظرة حول محور واحد على الاقل ، وذلك يعني ان الحد الموجب المساوي لـ (x.y) ، يقابله قيمة سالبة مساوية له في المقدار .

على أيٍّ حال ، فان مقطعاً مشابهاً لذاك الموضح في الشكل (٤ - ٣ -حـ) يعدُّ مقطعاً غير متناظر ، حول محور قطري ، ولهذا توجد قيمة عددية للرمز «I_{xy}» . تنعكس القيمة العددية هذه ، على شكل عزوم فتل ، تعمل على تقليص مقاومة العنصر الى حد بعيد .



الشكل(٤ ـ ٣): ويظهر فيه الحالات التي يمكن فيها أن يتطابق مركز القص ، مع مركز مساحة المقطع .

- **3.31** : يمكن لأيٍّ مقطع ، اختيار محاور مارّة من مركز المساحة ، لكي تتحوّل قيمة الجداء المرموز له بالرمز (I_{xy}) ، إلى مقدار يساوي الصفر . إنَّ المحاور هذه تسمّى المحاور الرئيسية . إنَّ معادلات العزوم ستتحوّل نتيجة المعطيات الجديدة ، إلى ما يلي :

$$P = f_a.A$$

$$Mx = K.I_x$$

$$My = j.I_y$$

- **3.32** : يمكننا من الفقرة (3.25) ، استخلاص قيمة كل من الثابتين (K و j) :

$$k = \frac{f_{bx}}{y}$$

$$j = \frac{f_{bx}}{y}$$

لذا يمكننا إعادة صياغة المعادلات الأساسية لتصبح :

$$f_a = \frac{P}{A}$$

$$\frac{f_{bx}}{y} = \frac{Mx}{I_x}$$

$$\frac{f_{by}}{x} = \frac{My}{I_y}$$

- **3.33** : إذا كان المطلوب ، إيجاد الإجهاد الأعظمي الواقع على مقطع العنصر ، فإنَّه توجد لحساب ذلك ، معادلات سنحاول التوصُّل إلى صياغة لها . لنفترض الحالة التي يكون فيها العزم مأخوذاً حول المحور (x) . فيكون الإجهاد مرتبط بالمسافة المحصورة ما بينه وبين المحور (x) ذاك ، وبالتالي فإنَّ الإجهاد الأعظمي ، يحدث عند نقطة من نقاط المقطع ، واقعة على مسافة أبعد ما تكون عن المحور (x) . إذا كانت (y_1) ، هي بعد النقطة الأبعد عن المحور (x) فإنّ :

$$\frac{f_{bx}\ max}{y_1} = \frac{Mx}{I_x}$$

إذاً :

$$f_{bx}\ max = \frac{Mx}{Z_x}$$

حيث :

$$Z_x = \frac{I_x}{y_1}$$

- **3.34** : وكما أشرنا في الفقرة (3.31) ، إنّ المعادلات بشكلها هذا ، لا تكون صحيحة ؛ إلاّ إذا كان المقطع متماثلاً حول واحد أو أكثر من المحاور الشاقولية أو الأفقية ، كالجسور المشابهة بشكلها لحرف «I» ، كالمجاري ، الكرات الصلدة ، المقاطع المفرّغة مستطيلة الشكل ، وهكذا . . .

هذا ، واستكمالاً للبحث ، لابدّ من الإشارة ، إلى أنّ المقاطع اللامتماثلة ، ناتج عزم عطالتها لا يساوي صفراً ، إلا إذا كان محور العزم هو محور رئيسي .

- **3.35** : تحوي الكتيّبات الصادرة عن المصانع المتخصّصة بتصنيع المقاطع المعدنية ؛ جداول تحوي قيم (Z_y , Z_x , I_y , I_x , A) . تستخدم معظم المواد الأخرى ، على شكل مستطيلات أو دوائر بسيطة ، وذلك بغية الحصول على قيم المعادلات تلك ، من الجداول مباشرة . هذا ، وسنذكر في الفصل الثالث من الجزء هذا ، القيم الثابتة لبعض الأشكال هذه .

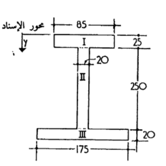
من دون اللجوء إلى قوانين رياضية معقدة ، يمكننا ببساطة ، ومن خلال قواعد بسيطة ، حساب القيمة الثابتة تلك ، والعائدة لبعض المقاطع غير الواردة في الكتيّبات الصادرة عن المصانع المتخصّصة ، بحيث تؤخذ قيمتي (I_x) و(I_y) المأخوذة دوماً ، حول محور مار من مركز مساحة المقطع ؛ حول محور آخر مواز للمحور (x) ، ويبعد عنه مسافة (r) ، مستفيدين لتحقيق ذلك ، من العلاقة التالية :

$$I_{rx} = I_x + Ar^2$$

* طريقة إيجاد عزم المساحة الثاني :

- 3.36 : لحساب العزم الثاني لمساحة المقطع الموضّح في الشكل (٢٨ ـ ٢) ، نُبحث أولاً عن موضع مركز المساحة . ينبغي أن تقع النقطة الممثِّلة لمركز المساحة ؛ بما أنّ المقطع متناظر حول محور شاقولي ؛ على محور التماثل هذا ، وبحيث يبعد مسافة (y_1) ، عن محور الإسناد الواقع في أعلى المقطع . نقسِّم المقطع إلى ثلاثة مستطيلات رموزها (I) ، (II) و(III).. يوضِّح الجدول (١ ـ ٢) الحسابات الواجب إجراؤها . من تتبُّع الجدول ، نلاحظ أنّه قد جرى في العمود الأوّل ، حساب مساحة كل جزء من أجزاء المقطع ، ليصار بعدئذ إلى جمع المساحات هذه ، إلى بعضها البعض ، للحصول على المساحة الإجماليّة للمقطع .

جرى في العمود الثاني ، حساب العزم الأوّل لكل جزء من أجزاء المقطع ، مأخوذاً حول محور الإسناد ، ويتم لنا ذلك ، بضرب المساحة بالمسافة المحصورة ، مابين مركز مساحة كل جزء من أجزاء المقطع ، وبين محور الإسناد . إن مجموع الكميات الجزئية هذه ، ستعطينا العزم الأول لكامل مساحة المقطع ، مأخوذاً حول محور الإسناد . إذا قسِّم العزم الأولي لكامل مساحة المقطع ، على مساحة المقطع الإجماليّة ، حصلنا على بعد مركز مساحة المقطع عن محور الإسناد .



الشكل (٢٨ ـ ٢) : مثال يوضِّح كيفيّة إيجاد العزم الثاني للمساحة ، أو عزم عطالة المقطع . راجع الفقرات من (3.31 لـ 3.33) ، واللوحة (١ ـ ١) للوقوف على طريقة الحساب .

رقم المساحة	المساحة = A	عزم المساحة الأولي حول محور الإسناد = Ay	عزم العطالة لكل جزء حوّل محور مار من مركز مساحة الجزء = Ix	عطالة كل جزء حول محور مار من مركز مساحة المقطع ككل Ar²	عزم عطالة المقطع ككل .
I	85 × 25 = 2 125	2125 × 12·5 = 26 562	$\frac{85 \times 25^3}{12}$ = 110 677	2125 × 154·5² = 50 724 000	$50·8 \times 10^6$
II	20 × 250 = 5 000	5000 × 150 = 750 000	$\frac{20 \times 250^3}{12}$ = 26 042 000	5000 × 17² = 1 445 000	$27·5 \times 10^6$
III	175 × 20 = 3 500	3500 × 285 = 997 500	$\frac{175 \times 20^3}{12}$ = 117 000	3500 × 118² = 48 734 000	$48·8 \times 10^6$
المجموع	10 625	1 774 062			$I_x = 127·1 \times 10^6$
Y_1	$= \frac{\Sigma Ay}{\Sigma A}$	$= \frac{1\ 774\ 062}{10\ 625} = \mathbf{167}$			

اللوحة (١ - ٢): يوضّح الشكل حساب عزم عطالة المقطع الموضّح في الشكل (٢٨ - ١).
راجع الفقرة (3.36) للوقوف على طرق الحساب.

- **3.37** : المرحلة الثانية من الحسابات ، تبدأ بحساب عزم عطالة كل جزء من أجزاء المقطع ، حول المحور المار من مركز مساحتها . للحصول على عزم عطالة كل جزء من أجزاء المقطع ، حول محور الإسناد ، يضاف لعزم عطالة كل جزء من أجزاء المقطع ، حول محور مار من مركز مساحته ، ناتج المقدار (Ar^2) ، أنظر الفقرة (3.35) . تجمع بعدئذ ، عزوم عطالة كافة أجزاء مساحة المقطع حول محور الإسناد ، إلى بعضها البعض ، للحصول على عزم عطالة مساحة المقطع الإجمالية ، أو العزم الثاني ، مأخوذاً حول محور الإسناد .

- **3.38** : كما رأينا ، يمكن الحصول على قيمة عزم عطالة المقطع ، بهذا الأسلوب ، حول محور ما ، إذا كنّا نستطيع حساب كلٍّ من : مساحة المقطع ، عزم عطالتها حول محور مار من مركز المساحة ، وكان مركز مساحة المقطع معلوماً . تحتاج الأشكال الأخرى ، لمعرفة عزوم عطالتها ، معرفة بقوانين التفاضل والتكامل ، وهي من القوانين المعقدة ، لذا لن نتناولها في هذه الموسوعة المختصرة ، لخروجها عن نطاق مانبغيه منها .

*** الخلاصة :**

- **3.39** : لقد تطوّرت من خلال الدراسة هذه ، المعادلات الخاصّة بالإجهاد المحوري لتصبح :

١ ـ مرتبطة بالعزوم حول المحور (x) بالعلاقة :

$$\frac{M_x}{I_x} = \frac{f_{bx}}{y}$$

٢ ـ ومرتبطة بشكلها العام بالعلاقة التالية : ٧٥

$$f = \frac{P}{A} + \frac{M_x}{I_x} \times y + \frac{M_y}{I_y} \times x$$

- **3.40** : تعتمد صحة المعادلات هذه على أمور خمسة :

١ ـ إنّ المحور (x) أو (y) ، أو كليهما هما محوري تناظر .

٢ ـ يتقاطع المحورين (y , x) ، في نقطة هي مركز مساحة المقطع .

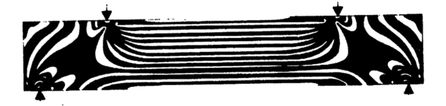
٣ ـ إنّ أبعاد المقطع تعد بسيطة ، إذا ماقورنت بطول العنصر .

٤ ـ إنّ مقطع العنصر ، يبقى دوماً مقطعاً مستوياً .

٥ ـ إنّ مادة المقطع ، مادة متجانسة ومرنة .

الفصل الثالث

مفهوم الإنفعال وتحليل إجهادات القص



● المقدمة :

- **1.01** : من الملاحظ استطالة قضيب معدني نحيل ، إن هو تعرّض لقوّة شد . إنّ الحركة هذه ، الناشئة عن قوّة مطبّقة ، تدعى الإنفعال أو التوتُّر . والإنفعال ، يحدِّد بوضوح ، مقدار تمدُّد أو تقلُّص وحدة طول العنصر ، أنظر الشكل (١ - ٣) .

التمدُّد يساوي (e)
طول العنصر = L
قوّة الشد = T
الإنفعال = $\frac{e}{L}$

الشكل (١ - ٣) : الإنفعال تعريفاً ، هو مسافة تقلُّص أو تمدُّد وحدة الطول .

● الانفعال المرن :

- **2.01** : يدعى واحد من أشكال الإنفعال ، الإنفعال المرن ، وهو انفعال يمتاز بخاصتين أساسيتين :

١ - إنّ الإنفعال هذا ، يتماشى مع قانون هوك ، والذي ينص على أنّ نسبة الإجهاد إلى الإنفعال ، يساوي رقماً ثابتاً ، أي :

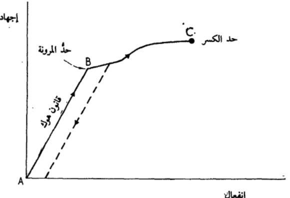
$$\frac{\text{الإجهاد}}{\text{الإنفعال}} = \text{ثابت}$$

يدعى ثابت النسبة هذه ، بثابت المرونة ، أو عامل يونغ .

٢ - سرعان مانلاحظ عودة العنصر إلى حالته الأصلية ، فور إزالة الإجهادات المطبّقة .

- **2.02** : لا تتصف كافة المواد ، بالإنفعال المرن . ومن تلك المواد ، قوالب الصلصال ، حيث تزداد تشوُّهاتها ، ولو ثبتت قيمة الإجهادات المطبّقة ، إضافة إلى أنّها لا تستطيع الرجوع ، إلى ماكان عليه شكلها ، وإن أزيلت الإجهادات المطبّقة . تدعى التشوُّهات الباقية هذه ، بالتشوُّهات اللدنة .

2.03 - : تتصرّف معظم مواد الإنشاء ، بإسلوب مشابه لما هو موضّح في الشكل (٢ - ٣) . وكما نلاحظ على المخطّط ، تتصرّف معظم المواد ، في حال تعرُّضها لإجهادات ذات قيم صغيرة ، وكما نلاحظ على المخطط ، تتصرف معظم المواد ، في حال تعرُّضها لإجهادات ذات قيم صغيرة ، تصرُّفات مرنة ، إلى أن تصل إلى حدِّ المرونة ، والممثّل هنا بالنقطة (B) . تستمر بعدئذ تشوُّهات المادة ، على شكل تشوُّهات لدنة ، إلى أن تصل التشوُّهات ، إلى حدِّ الكسر ، وهو الحدُّ الممثّل هنا بالنقطة (C) . إذا انخفضت قيمة الإجهادات ، بعد تجاوز التشوُّهات حدُّ المرونة ، بقيت التشوُّهات على حالها ، وتعذّر على العنصر ، العودة إلى شكله الأصلي ، حيث يظهر العنصر ، بشكله المشوّه الأخير ، كما هو موضّح في الشكل ، بخطوط منقّطة .



الشكل (٢ - ٣): يظهر الشكل مخطّط يوضّح العلاقة ما بين الإنفعال والإجهاد ، حيث تظهر على المخطّط هذا ، نقطة حدِّ المرونة والمسافة التي عندها يطبّق قانون هوك . يشير الخط المنقّط ، إلى التشوُّهات ، التي يمكن أن تحدث ، عند تجاوز الإنفعال لحدِّ المرونة ، إذ تبقى هذه التشوُّهات على حالها ، وإن أزيلت الإجهادات المطبّقة .

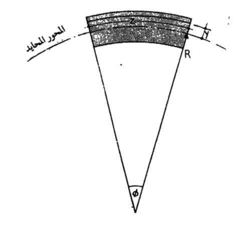
● إجهادات. وانفعالات العزوم :

- 3.01 : بعد أن تفهّمنا ماتعنيه لفظة الإنفعال ، لابد من الحذر والتريُّث ، عند محاولة الإقتراب ، لتفهُّم سلوكية المادّة ، عند تلقّيها إجهادات العزوم .

- 3.02 : يوضِّح الشكل (٣ ـ ٣) ، حالة عنصر إنشائي ، مصنّع من مادة مرنة ، عند تعرضه لعزم ما . يفترض بقاء كل مقطع مستو ، كان مستوياً قبل تطبيق العزم ، على حالته المستوية ، بعد تطبيق ذاك العزم . يبعد المقطعان عن بعضهما البعض مسافة (Z) ، ويحصران فيما بينهما زاوية تساوي (Ø) ، رأسها مركز العزم ، فتكون المسافة (Z) تساوي :

$$Z = Ø \times R$$

حيث (R) ، نصف قطر الإنحناء .



الشكل (٣ ـ ٣): الإجهاد الناشىء عن عزم ، حيث يظهر المخطّط ، عنصراً معرّضاً لعزم .

- 3.03 : لنتأمل ليفاً يقع فوق محور العنصر الطولي ، المار من مركز مساحة المقطع ، والمسمّى بمحور التعادل أو المحور المحايد . إن كان هذا الليف ، يبتعد عن المحور المحايد ، مسافة تساوي (y) ، كان طول العنصر أثناء تطبيق العزم مساوياً لـ $Ø (R + y)$ ، وبذا يكون امتداد العنصر مساوياً لـ $(Ø \times y)$ ، وبالتالي كان الإنفعال مساوياً لـ :

$$\frac{Ø \times y}{Ø \times R}$$

أو $\frac{y}{R}$

ونحن نعلم أنّه ، في حال كون العنصر مصنّعاً من مادة مرنة ، كانت نسبة الإجهاد إلى الإنفعال ، تساوي عدداً ثابتاً ، يسمى عامل يونغ ، إذاً :

$$E = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{الإنفعال}}$$

حيث (E) ، هو عامل يونغ ، لمادة العنصر المرنة ،

أنظر الفقرة (2.01) . من العلاقة السابقة ، نجد أن :

$$K.y = \frac{E}{R} \times y$$

كما افترضنا في الفقرة (3.25) من الفصل الثاني .

● إجهادات القص :

- **4.01** : إنّ التوصُّل إلى معادلة دقيقة ، نحسب ونتفهّم من خلالها إجهادات القص ، تعدُّ مهمّة أكثر مشقّة ، إذا ماقورنت بطرق استنتاج وحساب الإجهادات المباشرة . لذا كان ماسنطرحه هنا ، عبارة عن خطوط عريضة ، نتوخّى منها ، الوصول مباشرة إلى النتائج ، دون التطرُّق إلى الأساليب الدقيقة ، للتحليل الإنشائي .

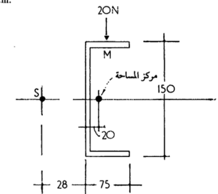
- **4.02** : لنحلِّل إجهادات القص ، عند كل نقطة من نقاط المقطع ، إلى مركبتيها الأفقية والشاقولية ، أنظر الفقرة (3.11) ، من الفصل الثاني . إن مجموع كافة مركبات الإجهادات هذه ، تشكِّل معاً ، مجمل قوى القص الشاقولية والأفقية ، العاملة في مستوى المقطع ، والمرموز لها بالرمزين (S_x , S_y) . وكما الإجهادات المحورية ، يمكننا توضيح أنه إذا كانت تلك القوى ، تمرُّ من نقطة محددة ، كما في بعض التطبيقات الخاصة ، فإن تلك القوى ، لن تسبِّب فتل أوليّ العنصر . كذلك نجد هنا ، أنه في حال ابتعاد محصِّلة كافة إجهادات القص ، عن النقطة المحددة هذه ، فإن عزم المحصِّلة هذه ، حول النقطة هذه ، سيصبح عزم فتل ، وسيعمل على ليٍّ العنصر .

4.03 - : في حالة قوى القص ، تدعى النقطة المحددة هذه ، مركز القص . وهي ليست متطابقة دوماً ، مع مركز مساحة المقطع ، إذ أنها تتطابق معها ، ليصبحا نقطة واحدة ، فقط في حال كان يوجد للمقطع ، محوري تناظر ، أو كان يوجد له ، محوري تقابل ، أنظر الشكل (٤ ـ ٣) . إن حالة التباعد الأكثر شيوعاً ، مابين النقطتين ، هي مانجدها في المجراة المعدنية ، الموضحة في

الشكل (٤ ـ ٣): ويظهر فيه الحالات التي يمكن فيها أن يتطابق مركز القص، مع مركز مساحة المقطع .

الشكل (٥ ـ ٣) . نلاحظ في الشكل ، أن مركز القص ، يقع في النقطة (S) ، وإن الحمولة المطبقة ، هي حمولة مركّزة ، قيمتها (20 N) ، تتركز في وسط شقّة المجراة ، المرموز لها بالحرف (M) ، وهي تسبِّب على المقطع ، عزم فتل قيمته (1.31 N.m) ، نستنتجه من حساب عزم القوة المركزة ، حول مركز القصّ . أي :

$$28\text{ m.m} + \frac{75\text{ m.m}}{2} \times 20\text{ N} = 1310\text{ N. m.m} = 1.31\text{ N.m.}$$



الشكل (٥ ـ ٣): ويظهر فيه حالة مجراة معدنيّة ، حيث يبتعد فيها مركز القص ، عن مركز مساحة المقطع .

● توزيع إجهاد القص :

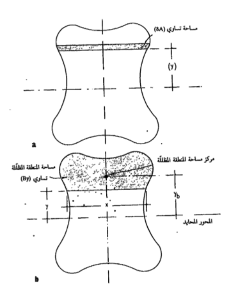
5.01 - : يمكننا اشتقاق نظرية ، لإيجاد إجهاد القص الأعظمي ، وتعيين مركزه ، إن كان المقطع متناظراً ، وغير خاضع لقص أفقي .

5.02 - : لنتأمّل المقطع الموضح في الشكل (٦ ـ ٣ ـ آ) . ولنفترض أن المقطع هذا ، معرضاً لعزم بمأخوذ حول المحور (x) فقط ، مع قوّة لا مباشرة . إن اختيار شكل عشوائي ، سيكشف لنا النظرية أو المبدأ العام ، وذلك قبل الإنتقال إلى الحالات الخاصة ، كحالة المقاطع المشابهة بشكلها لحرف (I) ، أو المقاطع مستطيلة الشكل .

5.03 - : لنأخذ شريحة أفقية ضيِّقة من المقطع ، مساحتها تساوي «δA». إن الإجهاد المباشر على الشريحة هذه يساوي :

$$f = K \times (y).$$

حيث تشير (y) ، إلى بعد الشريحة عن المحور المحايد ، وهو المحور الأفقي ، المار من مركز مساحة المقطع ، و«K» هو مقدار ثابت ، أنظر الفقرة (3.25) من الفصل الثاني .



الشكل (٦ ـ ٣) : يظهر الشكل مخططاً يجري من خلاله ، شرح نظريّة الإجهاد كما تطوّرت في الفقرة (5.02) .

5.04 - : لنتأمل المساحة (B_y) ، في الشكل (٦ - ٣ - ب) . تمتد المساحة هذه ، ابتداء من الخط الذي يبعد عن المحور المحايد مسافة (y) ، إلى أن تصل بحدودها ، إلى أقصى خطوط المقطع العلوية . تعطى القوة الكلية المطبقة على المساحة هذه ، بالعلاقة :

$$\Sigma K \times (y) \times \delta A$$

منتشرة على كامل المساحة ، أو :

$$K \Sigma (y) \times \delta A$$

تساوي القيمة : [$\Sigma(y) \times \delta A$] ، عزم المساحة الأولي للمساحة (B_y) ، حول المحور المحايد ، أو تساوي : $B_y \times y_b$.

إذا كانت (y_b) ، هي بعد مركز ثقل المساحة عن المحور المحايد .

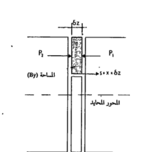
لهذا نكتب :

$$P = K \times B_y \times y_b$$

ولكن : [$K \times y_b$] ، هي قيمة الإجهاد عند مركز مساحة المساحة (B_y) ، والتي نستطيع أن ندعوها «f_b» . لهذا :

$$P = f_b \times B_y.$$

- **5.05** : لنتأمّل الآن ، شريحة جسر نخيلة ، سماكتها تساوي «δZ» . لقد جرى توضيح الشريحة هذه ، على الشكل (٧ - ٣) ، حيث لم يظهر الشكل مقطع الجسر ، بل إن ماأظهره ، هو واجهة الجسر .



الشكل (٧ - ٣): واجهة الجسر الموصوف في الفقرة (5.05) ، أنظر أيضاً الشكل (٦ - ٣).

تنوب جزء الشريحة في هذا المثال ، مناب المساحة المقتطعة من المقطع ، (B_y) ، والتي تفصل عن مسند الشريحة . بعد فصل الشريحة عن الجسر ، نلاحظ أن الشريحة خاضعة إلى القوة (P) ، التي تعمل على كلٍّ وجه من وجهي الشريحة ، كما أنها خاضعة لقوة قص تساوي = $S \times x \times \delta Z$ ، متواجدة عند القاعدة ، وناشئة عن انفصال الشريحة عن مسندها ، تلك القوى الثلاث في حالة توازن ، لذا ينبغي أن تكون حصيلتها أفقياً تساوي الصفر ، أي :

$$P_1 - P_2 = S \times x \times \delta Z$$

إذاً :

$$B_y (f_{b1} + f_{b2}) = S \times x \times \delta Z$$

وبما أن :

$$f = \frac{M}{I} \times y$$

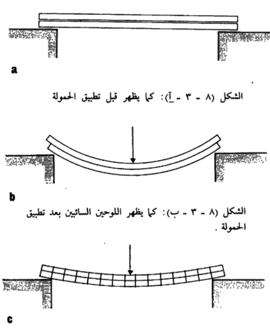
لذا فإن :

$$S \times x \times \delta Z = \frac{y_b \times B_y}{I} (M_1 - M_2)$$

5.06 - : يمكننا إثبات ، بقوانين وملاحظات خارجة عن نطاق أهداف الموسوعة هذه ، أنّه عندما تنتهي قيمة «δZ» إلى الصفر ، فإن قيمة المقدار : $\frac{M_1 - M_2}{\delta Z}$ ينتهي إلى قيمة تعادل قوة القص الشاقولي (S_y) ، على كامل المقطع ، أنظر الشكل (٦ ـ ٣ ـ ب) ، لهذا :

$$S = \frac{B_y \times y_b}{I \times x} S_y$$

ـ 5.07 : من خلال المعادلة السابقة ، يمكننا تحديد قيمة إجهادات القص المحورية في الجسر . هذا ، ويمكننا من خلال تجربة بسيطة ، إثبات تواجد مايسمّى إجهادات القص المحوريّة . لنضع لوحين خشبيين ، طولاهما متساويين تماماً ، على مسندين بسيطين ، يفصل بينهما مجاز عريض ، أنظر الشكل (٨ ـ ٣ ـ آ) . لنعرِّض اللوحين ، إلى قوة مركّزة ، فنلاحظ ارتخاء اللوحين «تشوُّهما» ، حال تطبيق الحمولة ، مما يؤدي إلى انزلاق اللوّحين عن بعضهما البعض ، أنظر الشكل (٨ ـ ٣ ـ ب) . إذا سمِّر اللوحين إلى بعضهما البعض ، وطبّقنا عليهما ذات الحمولة ، للاحظنا انخفاض سهم الهبوط ، وبقاء طرفي اللوحين ، على سويّة واحدة ، مما يدعونا إلى القول ، بأنّ اللوحين المثبّتين معاً ، منعا ظاهرة إنزلاق اللوحين عن بعضهما البعض ، وأصبحا أكثر قدرة ، على تحمُّل الأوزان أو الحمولات المطبّقة ، أنظر الشكل (٨ ـ ٣ ـ جـ) .



الشكل (٨ ـ ٣ ـ آ): كما يظهر قبل تطبيق الحمولة

الشكل (٨ ـ ٣ ـ ب): كما يظهر اللوحين السائبين بعد تطبيق الحمولة .

الشكل (٨ ـ ٣ ـ جـ): كما يظهر اللوحين المسمّرين إلى بعضهما بعد تطبيق الحمولة .

الشكل (٨ ـ ٣): لوحين ممتدان على مجاز عريض

ـ **5.08** : هناك أيضاً إجهادات قصٍّ شاقوليّة ، تؤثِّر على وجهي المقطع الجانبيين ، أنظر الشكل (٩ ـ ٣). يمكننا من خلال ما سثبته الفقرة (9.01) ، إعتبار إجهادي القص هذين ، متساويين في القيمة . لذا يمكننا أيضاً ، استخدام المعادلة السابقة ، لإيجاد إجهـاد القص الشاقولي ، عند نقطة على المقطع ، كما هو مثبوت في المثال التالي :

مثال :

لنستخدم المقطع الموضّح في الشكل (٢٨ ـ ٢)، ولنوجد إجهاد القص ، عند الوصلة الواقعة ما بين الجزئين «I» و (II) ، عندما تكون قوّة القص على المقطع تساوي (20KN) . كافّة الأبعاد المأخوذة ، مأخوذة بالملم :

قوّة القطع على المقطع = $S_y = 20 \times 10^3$

مساحة الجزء (I) = $B_y = 2.125 \times 10^3$

وبالرجوع إلى اللوحة (١ ـ ٢) نجد أن :

$I_x = 127.1 \times 10^6$

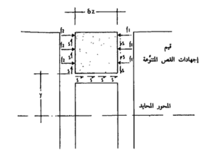
عرض المقطع عند نقطة الحساب = $x = 20$

لذا يمكننا أن نكتب :

$$S = \frac{B_y \times y_b}{I \times X} \times S_y$$

$$S = \frac{2125 \times 154.5}{127.1 \times 20} .003\ 10^{-6} \times 20 \times 10^3$$

$$S = 2.58\ N/m.m^2$$



الشكل (٩ ـ ٣): يظهر الشكل مخططاً يوضّح تأثير القص الشاقولي على الجسر الموضّح في الشكل (٧ ـ ٣).

● حساب القص على مقطع مستطيل الشكل :

6.01 - : لنتأمّل المقطع مستطيل الشكل الموضّح في الشكل (١٠ ـ ٣)، والذي ارتفاعه (d) ، وعرضه (b) :

$$B_y = \left(\frac{d}{2} - y\right) \times b$$

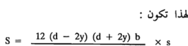
$$y_b = \frac{y}{2} + \frac{d}{4}$$

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

$$x = b$$

الشكل (١٠ ـ ٣): يظهر الشكل إجهاد القص على مقطع مستطيل الشكل .

لهذا تكون :



$$S = \frac{12\,(d - 2y)\,(d + 2y)\,b}{8bd^3 \times b} \times s$$

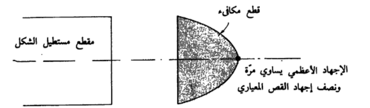
$$= \left[\frac{3}{2b + d} - \frac{6y^2}{b \times d^3}\right] s$$

ـ **6.02** : من الملاحظ أنّ القيمة السابقة ، تتزايد عندما : $y = 0$ ، وهي حالة تتواجد عند المحور المحايد ، وبذا يمكننا كتابة العلاقة عند المحور المحايد ، بالشكل التالي :

$$S = \frac{3}{2} \times \frac{S}{bd}$$

أو يمكننا القول ، أنّ إجهاد القص الأعظمي ، في مقطع مستطيل الشكل ، يساوي مرّة ونصف ، قيمة إجهاد القص العام ، أنظر الشكل (١١ ـ ٣).

ـ **6.03** : يوضّح الشكل (١١ ـ ٣)، التوزيع التقريبي للإجهادات المنتشرة ، في مقطع مستطيل الشكل ، وهي في شكلها التخطيطي « البياني ». إنّ المخطّط يظهر أنّه عندما : $y = \frac{d}{2}$ ، وهي الحالة المقرّرة عند طرف المقطع ، يكون الإجهاد مساوياً للصفر ، كما هو متوقّع .

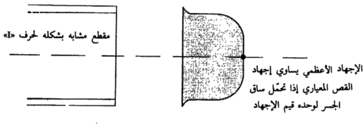


الشكل (١١ ـ ٣): يظهر الشكل إجهاد القص على مقطع مستطيل الشكل .

● حساب إجهاد القص على مقطع شكله مشابه لحرف «I» :

ـ 7.01 : إنّ توزيع إجهادات القص العاملة ضمن مقطع مشابه بشكله لحرف «I» ، نراه موضّحاً تخطيطيّاً في الشكل (١٢ ـ ٣). نلاحظ من الخط البياني ، أنّ إجهادات القص ، تتوزّع بالتساوي تقريباً عند قائم المقطع ، بينما تبقى تأثيراتها مهملة ، عند شفتي المقطع . لذا يمكننا حساب القص ، عند ذراع المقطع الموضّح في مثالنا المدرج في الفقرة (5.08) ، على الشكل التالي :

$$S = \frac{S}{bd} = \frac{0000}{250 \times 20} .004\ 4\ N/m.m^2$$



الشكل (١٢ ـ ٣): يظهر الشكل إجهاد القص على مقطع مشابه بشكله لحرف «I» .

● علاقة وصلة الإجهادات ببعضها :

ـ 8.01 : إنّ الإجهادات لا تتواجد منفصلة ، بل إنَّ أيّ شكل من أشكال الإجهاد ، يرتبط ارتباطاً وثيقاً ، بأشكال الإجهادات الأخرى .

* نسبة بواصون :

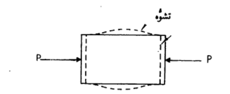
ـ 8.02 : إذا ضغطت كتلة من المطّاط القاسي ، بقوّتي ضغط تعملان معاً ، تحوّلت كتلة المطّاط ، إلى ما يشبه البرميل ، أنظر الشكل (١٣ ـ ٣) . وبشكل مشابه ، يتحوّل الرباط المطّاطي ، إن شدّت أطرافه ، إلى رباط أكثر نحولاً . تصيب الظاهرة الطبيعيّة هذه ، كافة المواد ، وفق نسبة تسمّى نسبة بواصون . فإذا كان الإنفعال في اتجاه المحور (x) يساوي (e_x) ، والإنفعال في إتجاه المحور (y) يساوي (e_y) فإنّ :

$$\frac{e_y}{e_x} = \sigma \text{ (sigma)}$$

أو نسبة بواصون .

عند تطبيق قانون هوك ، نلاحظ أيضاً وبشكل مشابه أنّ

$$\frac{f_x}{f_y} = \sigma$$

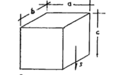


الشكل (١٣ ـ ٣): تأثير انضغاط كتلة مطاطيّة .

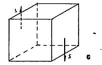
● توازن إجهادات القص :

ـ 9.01 : يظهر الشكل (١٤ ـ ٣ ـ آ) ، كتلة ماديّة صغيرة ، مأخوذة من وسط عنصر إنشائي ، طولها (a) ، وعرضها (b) ، وارتفاعها أو سماكتها (c) . يطبّق على أحد أطراف الكتلة ، إجهاد قص يساوي (S) ، أو قوّة مقدارها : S × bc . إذا حلّلنا القوى على محور شاقولي ، فلاحظنا أنّه لابدّ من وجود إجهاد قصّ آخر ، يقع على الطرف الآخر من الكتلة ، يعمل على منع تحرُّك الكتلة شاقوليّاً ، أنظر الشكل (١٤ ـ ٣ ـ ب). إلا أنّ القوّتان معاً ، ستشكّلان مزدوجة عزمها يساوي (S × abc) .

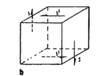
لتبقى الكتلة الماديّة متوازنة ، لابدّ من مزدوجة أخرى ، عزمها يُساوي عزم المزدوجة الأولى ، وتخالفها في الإتجاه . لذا لابدّ من ملاحظة قوتان مقدار كل منهما ('S) ، تتواجد أولاهما ، على سطح الكتلة من الأعلى ، وتؤثِّر الأخرى ، على قاعدة الكتلة المادية . عند حساب عزم المزدوجة هذه ، نلاحظ أنها تساوي (S' × abc) ، أنظر الشكل (١٤ ـ ٣ ـ حـ). وبما أنّ عزمي المزدوجتين متساوياً ، فإنّ : S = S' . هذا يدعونا إلى القول ، إنّ إجهاد القصّ الشاقولي ، يستحثُّ المادّة دوماً ، على توليد إجهادات قصّ أفقيّة ، مساوية لها في القيمة .



الشكل (١٤ ـ ٣ ـ آ): إجهاد القص على واحد من أطراف الشكل .



الشكل (١٤ ـ ٣ ـ حـ): لتتوازن الكتلة لابد من وجود مزدوجة على المستوي الأفقي تساوي الأولى وتعاكسها في الإتجاه .



الشكل (١٤ ـ ٣ ـ ب): إنّ القوّة الشاقوليّة المقابلة على الطرف الآخر تمنع الحركة الشاقوليّة إلا أنّها تحدث مزدوجة .

الشكل (١٤ ـ ٣): توازن إجهادات القص .

● الإجهاد المباشر يتولّد عن إجهاد القص :

- 10.01 : يمكننا استخدام المخطّط الموضّح في الشكل (١٥ ـ ٣)، لاكتشاف كيفية توليد إجهاد مباشر ، من إجهاد قص . إنّها شريحة مثلثيّة الشكل ، مقتطعة من الكتلة الماديّة ، الموضّحة في الشكل (١٤ ـ ٣). إنَّ طول وتر المثلّث القائم هذا يساوي (1) . لنفترض أن الإجهاد المباشر المستحث ، قيمته تساوي (f) ، وإنَّ قيمة إجهاد القص العامل على وتر المثلّث يساوي (S) . بتحليل القوى

في الإتجاه (f) نجد أنّ :

$$f \times 1b = S' \times 1b \times \cos\phi \times \sin\phi + S' \times 1b \times \sin\phi \times \cos\phi$$

إذاً :

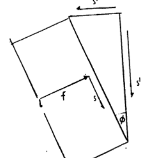
$$f = S' \sin 2\phi$$

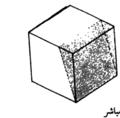
وبتحليل القوى باتجاه (S) نجد أنّ :

$$S \times 1b = S' \times 1b \times \sin^2\phi - S' \times 1b \times \cos^2\phi$$

إذاً :

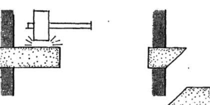
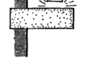
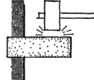
$$S = S' \cos 2\phi$$





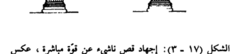
الشكل (١٥ ـ ٣): يظهر الشكل كيف يمكن أن يتولّد إجهاد مباشر عن إجهاد قص

ـ **10.02** : تنجلي فوائد التمرين هذا ، وتصبح أكثر وضوحاً ، عندما تكون قيمة الزاوية (ϕ) تساوي (٤٥°) . عندها تكون قيمة الإجهاد (S) يساوي صفراً ، و : f = S' . إنّ ذلك يعني ، أنّ إجهاد القص ، قد ولّد إجهاداً مباشراً ، يساويه في القيمة ، عند مستو يصنع مع مستوي القص زاوية قدرها (٤٥°)، إن ما استخلصناه من التمرين هذا ، هو بالطبع معلومة عامة ، انظر الشكل (١٦ ـ ٣) .

الشكل (١٦ ـ ٣): اجهاد شد ناشيء عن إجهاد قص . يولّد إجهاد القص ، إجهاداً مباشراً ، يعادله في القيمة ويعمل في مستو زاويته (٤٥°).

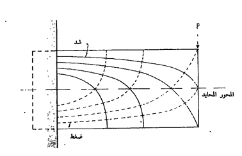
ـ **10.03** : إن عكس النظرية السابقة صحيح أيضاً ، إذ أن الإجهاد المباشر ، يستحث المنشأة ، فيتولد عنه إجهاد قص يساويه في القيمة ، عند مستو يصنع مع مستوي القص المباشر زاوية (٤٥°)، أنظر الشكل (١٧ ـ ٣) .



الشكل (١٧ ـ ٣): إجهاد قص ناشيء عن قوّة مباشرة ، عكس الحالة السابقة .

● الإجهادات الرئيسية :

ـ 11.01 : لقد كان واضحا لنا ، من خلال الفقرة (10.02) ، أنّ اجهادات القص ، تنعدم في مستو يصنع مع مستوي القص المباشر زاوية (٤٥°). وبالعودة الى النظرية المثبتة في الفقرة (9.01) ، نتابع فنقول ، إن اجهادات القص أيضاً معدومة ، على مستو عامودي على مستو يصنع مع مستوي القص المباشر زاوية (٤٥°). تعرّف الاجهادات المباشرة الواقعة على المستويين هذين ، بالاجهادات الرئيسية ، حيث يدعى إحداهما ، بالإجهاد المباشر الأعظمي ، ويدعى الآخر بالإجهاد المباشر الأصغري . إنّ اتجاهات الإجهادات هذه تدعى المحاور الرئيسية، فإن رسمت ، جدلاً ، على واجهة العنصر ؛ شكّلت مسارات الإجهاد .



الشكل (١٨ ـ ٣): مسارات الإجهاد في جسر موثوق من طرف واحد .

● مسارات الإجهاد :

ـ 12.01 : يوضّح الشكل (١٨ ـ ٣)، مسارات الاجهاد ، مرسومة على الواجهة الجانبية لجسر موثوق من طرف واحد . تدل الخطوط المستمرّة ، على اتجاه إجهادات الشد الرئيسية ، بينما تشير الخطوط المنقّطة ، إلى اتجاه إجهادات الضغط الرئيسية . تتقاطع هذه الخطوط ، كما هو واضح ، وفق زوايا قائمة . إنَّ قيم الإجهادات ، على طول الخطوط هذه ، ليست بالضرورة قيم ثابتة .

● خصائص ومعطيات المقاطع الأساسيّة :

سندرج في هذه الفقرة ، قائمة تتضمّن الخصائص الهندسيّة ، لستة وعشرين مقطعاً ، تحوي القواعد المتّبعة لاستخراج المساحة ، لاستخراج بعد الليف النهائي عن المحور المحايد ، عزم العطالة ، المُعامِل (Z_x) ، وقيمة نصف قطر الحركة التدويّة .

شكل المقطع	مساحة المقطع (A)	بعد ليف المقطع النهائي (y_1) عن المحور المحايد	عزم العطالة حول المحور المحايد $(X \times I_x)$	$Z_x = \frac{I_x}{y_1}$	نصف قطر الحركة التدويّة : $K = \frac{I_x}{A}$
a ; x — x	a^2	$\frac{a}{2}$	$\frac{a^4}{12}$	$\frac{a^2}{6}$	$\frac{a}{\sqrt{12}} = 0 \cdot 289\ a$
b ; d ; x — x	bd	$\frac{d}{2}$	$\frac{1}{12} b\, d^3$	$\frac{1}{6} b\, d^2$	$\frac{d}{\sqrt{12}} = 0 \cdot 289\ d$
a_1 ; a_2 ; x — x	$a_1^2 - a_2^2$	$\frac{a}{2}$	$\frac{a_1^4 - a_2^4}{12}$	$\frac{a_1^4 - a_2^4}{6\, a_1}$	$\sqrt{\frac{a_1^2 + a_2^2}{12}}$
b_1 ; b_2 ; d_1 ; d_2 ; x — x	$b_1 d_1 - b_2 d_2$	$\frac{d_1}{2}$	$\frac{b_1 d_1^3 - b_2 d_2^3}{12}$	$\frac{b_1\, d_1^3 - b_2\, d_2^3}{6\, d_1}$	$\sqrt{\frac{b_1 d_1^3 - b_2 d_2^3}{12\,(b_1 d_1 - b_2 d_2)}}$

شكل المقطع	مساحة المقطع (A)	بعد ليف المقطع النهائي عن المحور المحايد (y_1)	عزم العطالة حول المحور المحايد $(X \times I_x)$	$Z_x = \frac{I_x}{y_1}$	نصف قطر الحركة التدويمية : $K = \frac{I_x}{A}$
	a^2	$\frac{a}{\sqrt{2}} = 0{\cdot}707\ a$	$\frac{a^4}{12}$	$\frac{\sqrt{2}}{12} a^3 = 0{\cdot}118\ a^3$	$\frac{a}{\sqrt{12}} = 0{\cdot}289\ a$
	bd	$\frac{bd}{\sqrt{b^2 + d^2}}$	$\frac{b^3d^3}{6\ (b^2 + d^2)}$	$\frac{b^2\ d^2}{6\ \sqrt{b^2 + d^2}}$	$\frac{bd}{\sqrt{6\ (b^2 + d^2)}}$
	bd	$\frac{b \sin \phi + d \cos \phi}{2}$	$\frac{b\ d}{12}\left(d^2 \cos^2 \phi + b^2 \sin^2 \phi\right)$	$\frac{bd}{6} \cdot \frac{(d^2 \cos^2 \phi + b^2 \sin^2 \phi)}{(d \cos \phi + b \sin \phi)}$	$\sqrt{\frac{d^2 \cos^2\phi + b^2 \sin^2\phi}{12}}$
	$\frac{3\sqrt{3}}{2} a^2 = 2{\cdot}598\ a^2$	a	$\frac{5\sqrt{3}}{16} a^4 = 0{\cdot}5413\ a^4$	$\frac{5\sqrt{3}}{16} a^3$	$a \sqrt{\frac{5}{24}}$
	$\frac{3\sqrt{3}}{2} a^2 = 2{\cdot}598\ a^2$	$a \frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{5\sqrt{3}}{16} a^4 = 0{\cdot}5413\ a^4$	$\frac{5}{8} a^3$	$a \sqrt{\frac{5}{24}}$
	$2\ d^2 \tan 22\frac{1}{2}^\circ = 0{\cdot}8284\ d^2$	$\frac{d}{2}$	$\frac{4}{3} (4\sqrt{2} - 5)\ d^4 = 0{\cdot}8758\ d^4$	$\frac{8}{3} (4\sqrt{2} - 5)\ d^3 = 1{\cdot}7516\ d^3$	$d\sqrt{1{\cdot}057} = 1{\cdot}027\ d$ $\frac{bd}{6}\left(\frac{d^2 \cos^2 \phi + b^2 \sin^2 \phi}{d \cos \phi + b \sin \phi}\right)$

شكل المقطع	مساحة المقطع (A)	بعد ليف المقطع النهائي عن المحور المحايد (y_1)	عزم العطالة حول المحور المحايد $(X \times I_x)$	$Z_x = \frac{I_x}{y_1}$	نصف قطر الحركة التدويمّة : $K = \frac{I_x}{A}$
	$\frac{bd}{2}$	$\frac{d}{3}$	$\frac{b \cdot d^3}{36}$	$\frac{b\ d^2}{24}$	$\frac{d}{\sqrt{18}} = 0 \cdot 236\ d$
	$\frac{a+b}{2} d$	$\frac{a+2b}{a+b} \frac{d}{3}$	$\frac{a^2+4ab+b^2}{36(a+b)} d^3$	$\frac{a^2+4ab+b^2}{12(a+2b)} d^2$	$d\sqrt{\frac{a^2+4ab+b^2}{18(a+b)^2}}$
	$\frac{\pi d^2}{4} = 0 \cdot 7854\ d^2$	$\frac{d}{2}$	$\frac{\pi d^4}{64} = 0 \cdot 0491\ d^4$	$\frac{\pi d^3}{32} = 0 \cdot 0982\ d^3$	$\frac{d}{4}$
	$\frac{\pi}{4}(d^2 - d_1^2)$	$\frac{d}{2}$	$\frac{\pi}{64}(d^4 - d_1^4)$	$\frac{\pi}{32} \frac{d^4 - d_1^4}{d}$	$\frac{\sqrt{d^2 + d_1^2}}{4}$
	$\frac{\pi d^2}{8} = 0 \cdot 3927\ d^2$	$\frac{2d}{3\pi} = 0 \cdot 212\ d$	$\frac{9\pi^2 - 64}{1152\pi} d^4 = 0 \cdot 007\ d^4$	$\frac{(9\pi^2 - 64) d^3}{192(3\pi - 4)} = 0 \cdot 024\ d^3$	$\frac{\sqrt{9\pi^2 - 64}\ d}{12\pi} = 0 \cdot 132\ d$

شكل المقطع	مساحة المقطع (A)	بعد ليف المقطع النهائي عن المحور المحايد (y_1)	عزم العطالة حول المحور المحايد ($X \times I_x$)	$Z_x = \frac{I_x}{y_1}$	نصف قطر الحركة التدويمية : $K = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$
	$\frac{\pi b d}{4}$ $= 0{\cdot}7854\ bd$	$\frac{d}{2}$	$\frac{\pi b d^3}{64} = 0{\cdot}0491\ b\ d^3$	$\frac{\pi b d^3}{32} = 0{\cdot}0982\ b\ d^2$	$\frac{d}{4}$
	$\frac{\pi}{4}(bd - b_1 d_1)$	$\frac{d}{2}$	$\frac{\pi}{64}(b\ d^3 - b_1\ d_1^3)$	$\frac{\pi}{32}\frac{b\ d^3 - b_1\ d_1^3}{d}$	$\frac{1}{4}\sqrt{\frac{bd^3 - b_1 d_1^3}{bd - b_1 d_1}}$
	$(bd - b_1 d_1)$	$\frac{d}{2}$	$\frac{1}{12}(b\ d^3 - b_1 d_1^3)$	$\frac{b\ d^3 - b_1\ d_1^3}{6\ d}$	$\sqrt{\frac{bd^3 - b_1 d_1^3}{12\ (bd - b_1 d_1)}}$
	$(bd - b_1 d_1)$	$\frac{d}{2}$	$\frac{1}{12}(b\ d^3 - b_1 d_1^3)$	$\frac{b\ d^3 - b_1\ d_1^3}{6\ d}$	$\sqrt{\frac{bd^3 - b_1 d_1^3}{12\ (bd - b_1 d_1)}}$
	$(bd - b_1 d_1)$	$\frac{d}{2}$	$\frac{1}{12}(b\ d^3 - b_1 d_1^3)$	$\frac{b\ d^3 - b_1\ d_1^3}{6\ d}$	$\sqrt{\frac{(bd^3 - b_1 d_1^3}{12\ (bd - b_2 d_1)}}$

نصف قطر الحركة التدويمية : $K = \frac{I_x}{A}$	$Z_x = \frac{I_x}{y_1}$	عزم العطالة حول المحور المحايد $(X \times I_x)$	بعد ليف المقطع النهائي (y_1) عن المحور المحايد	مساحة المقطع (A)	شكل المقطع
—	$\frac{(bd^2 - b_1d_1^2)^2 - 4\,bd\,b_1d_1(d - d_1)^2}{6\,(bd^2 - 2\,bd\,d_1 + b_1d_1^2)}$	$\frac{(bd^2 - b_1d_1^2)^2 - 4\,bd\,b_1d_1(d - d_1)^2}{12\,(bd - b_1d_1)}$	$\frac{bd^2 - 2\,b_1d_1\,d + b_1d_1^2}{2\,(bd - b_1d_1)}$	$(bd - b_1d_1)$	
—	$\frac{(bd^2 - b_1d_1^2)^2 - 4\,bd\,b_1d_1(d - d_1)^2}{6\,(bd^2 - 2\,bd\,d_1 + b_1d_1^2)}$	$\frac{(bd^2 - b_1d_1^2)^2 - 4\,bd\,b_1d_1(d - d_1)^2}{12\,(bd - b_1d_1)}$	$\frac{bd^2 - 2\,b_1d_1\,d + b_1d_1^2}{2\,(bd - b_1d_1)}$	$(bd - b_1d_1)$	
—	$\frac{(bd^2 - b_1d_1^2)^2 - 4\,bd\,b_1d_1(d - d_1)^2}{6\,(bd^2 - 2\,bd\,d_1 + b_1d_1^2)}$	$\frac{(bd^2 - b_1d_1^2)^2 - 4\,bd\,b_1d_1(d - d_1)^2}{12\,(bd - b_1d_1)}$	$\frac{bd^2 - 2\,b_1d_1\,d + b_1d_1^2}{2\,(bd - b_1d_1)}$	$(bd - b_1d_1)$	
$\sqrt{\frac{bd_1^3 + b_1d^3}{12\,(bd_1 + b_1d)}}$	$\frac{b_1\,d^3 + b\,d_1^3}{6\,d}$	$\frac{1}{12}\,(b\,d_1^3 + b_1d^3)$	$\frac{d}{2}$	$(bd_1 + b_1d)$	
$\sqrt{\frac{bd_1^3 + b_1d^3}{12\,(bd_1 + b_1d)}}$	$\frac{b_1\,d^3 + b\,d_1^3}{6\,d}$	$\frac{1}{12}\,(b\,d_1^3 + b_1d^3)$	$\frac{d}{2}$	$(bd_1 + b_1d)$	
$\sqrt{\frac{bd_1^3 + b_1d^3}{12\,(bd_1 + b_1d)}}$	$\frac{b_1\,d^3 + b\,d_1^3}{6\,d}$	$\frac{1}{12}\,(b\,d_1^3 + b_1d^3)$	$\frac{d}{2}$	$(bd_1 + b_1d)$	



